Studien

zur

phänologischen Agrarklimatologie Europas

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Dipl.-Geogr. Erika Freitag

aus Magdeburg

D 188

1965

Studien

zur

phänologischen Agrarklimatologie Europas

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Dipl.-Geogr. Erika Freitag

aus Magdeburg

D 188

1. Referent: Reg.-Dir. Dr. F. Schnelle
2. Referent: Prof. Dr. G. Jensch
3. Referent: Prof. Dr. R. Scherhag

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Dezember 1964
Tag der Promotion: 31. Juli 1965

Die vorliegende Dissertation wird als
„Bericht des Deutschen Wetterdienstes Nr. 98“
veröffentlicht.

Inhalt

Seite

Aufstellung der verwendeten Abkürzungen 5
Zusammenfassung 6
Abstract 6

1. **Einführung** 6
1.1. Die phänologische Agrarklimatologie in ihrer Bedeutung für die angewandte Agrargeographie 6
1.2. Problemstellung, Durchführung und Ziel der Arbeit 7
1.3. Bisherige Arbeiten zur großräumigen Agrarklimatologie 8

2. **Ausgangsmaterial und seine Aufbereitung** 10
2.1. Auswertungsperiode 10
2.2. Stationen 13
2.3. Klimaelemente 13
2.4. Phänologische Phasen und Zeitspannen 14

3. **Ergebnisse phänologisch-klimatologischer und klimatologischer Auswertungsmethoden** 15
3.1. Vergleich von Klimadaten für phänologische und kalendarische Zeitabschnitte 17
3.1.1. Phänologische Phasen und Zeitspannen in ihrer Beziehung zum Kalenderjahr 17
3.1.2. Gegenüberstellung von Klimasummen nach phänologischen und nach kalendarischen Zeitabschnitten 18
3.2. Klimadaten für phänologische Zeitspannen 18
3.2.1. Klimasummen, -mittel und mittlere Dauer phänologischer Zeitspannen 18
3.2.1.1. Frankreich-Karten der Klimasummen, -mittel und mittleren Dauer phänologischer Zeitspannen 18
3.2.1.2. Graphische Darstellungen von Klimasummen phänologischer Zeitspannen 21
3.2.2. Häufigkeit täglicher Temperaturdaten 21
3.2.3. Niederschlagshäufigkeit 22
3.2.3.1. Häufigkeit der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage 22
3.2.3.2. Häufigkeit der Tage mit Niederschlag um die Zeit der Winterweizen-Ernte 23
3.2.4. Tagesdaten der klimatischen Wasserbilanz 25
3.2.4.1. Häufigkeit und Summenprozentwerte von Tagesdaten der klimatischen Wasserbilanz in phänologischen Zeitspannen 25
3.2.4.2. Klimatische Wasserbilanz um die Zeit der Winterweizen-Ernte 26
3.2.5. Frosthäufigkeit 29
3.2.5.1. Häufigkeit der Frosttage um die Zeit der Apfelblüte 29
3.2.5.2. Häufigkeit der Frosttage in phänologischen Zeitspannen.. 31
3.2.5.3. Beginn und Ende der Frostperiode im Vergleich zu phänologischen Phasen und Zeitspannen 33
3.2.5.4. Negative Tagesmitteltemperaturen in phänologischen Zeitspannen 33
3.3. Klimadaten für Kalendertage in ihrer Beziehung zu phänologischen Phasen 35
3.3.1. Klimadaten ausgewählter meteorologischer Elemente 35
3.3.2. Häufigkeit der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage 36
3.3.3. Häufigkeit der Frosttage 37
3.4. Klimadaten für Pentaden in ihrer Beziehung zu phänologischen Phasen 37
3.4.1. Klimadaten ausgewählter meteorologischer Elemente 38
3.4.2. Häufigkeit der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage 39
3.4.3. Häufigkeit der Frosttage 40

4. **Kritische Betrachtung der phänologisch-agrarklimatologischen Datenaufbereitungsmethoden** 40
4.1. Phänologische und kalendarische Zeitabschnitte und ihre Verwendbarkeit zur Aufbereitung von Klimadaten 40
4.1.1. Methode A und B zur phänologisch-klimatologischen Datenaufbereitung 40
4.1.2. Veränderlichkeit von Klimasummen in phänologischen und kalendarischen Zeitabschnitten 41
4.1.3. Phänologische Phasen und Zeitspannen, ihre Abgrenzung und Veränderlichkeit 43

Seite

4.2. Phänologisch-klimatologische Methoden der Datenaufbereitung 44
4.2.1. Phasen und Zeitspannen zur agrarklimatologischen Datenaufbereitung ... 45
4.2.2. Summen und Mittel der Klimaelemente ... 45
4.2.3. Häufigkeiten der Klimaelemente ... 46
4.3. Klimadaten für kurze kalendarische Zeitabschnitte ... 46
4.4. Die phänologische Klimatologie als Hilfsmittel für agrarklimatologische Klassifikationen ... 46

5. Die phänologische Klimatologie in ihrer Bedeutung für die Agrargeographie ... 47
5.1. Ausblick auf eine großräumige agrarklimatologische Gesamtbewertung ... 47
5.1.1. Kulturpflanzen- bzw. Anbaugruppen als Aufbereitungseinheiten ... 47
5.1.2. Phänologische Anbaubewertung ... 47
5.1.3. Phänologische Klimabewertung ... 48
5.1.4. Agrarklimatologische Anbaubewertung ... 48
5.2. Landwirtschaftliche Einzelprobleme in ihrer Klimabedingtheit 49
5.2.1. Landwirtschaftlicher Betrieb und Betriebsrentabilität in Abhängigkeit vom Klima ... 49
5.2.2. Das landwirtschaftliche Arbeitsjahr ... 50
5.2.3. Agrarklimatologische Steuerung der Saat- bzw. Erntezeiten ... 51
5.2.4. Frostgefährdung ... 52
5.2.5. Qualitätssteigerung ... 54
5.2.6. Weitere agrarklimatologische Einzelprobleme ... 54
5.3. Ernteertrag und Ertragsprognose in ihrer Klima- und Witterungsbedingtheit ... 55
5.3.1. Beziehungen zwischen Ertrag und Witterung ... 55
5.3.2. Agrarmeteorologische Berichterstattung und Prognose .. 55

Literatur ... 56

Anhang: Abb. 1 — 16

Diese Arbeit wurde im Jahre 1964 von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Freien Universität Berlin als Dissertation angenommen. Das Material, das die Grundlage dieser Studien bildet, wurde im Rahmen eines vom Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten an den Deutschen Wetterdienst erteilten und auf drei Jahre befristeten Forschungsauftrages

„Agrarklimatologische Untersuchung der natürlichen Standortsverhältnisse in den landwirtschaftlichen Anbaugebieten Europas, im besonderen der EWG-Länder"

unter Leitung von Herrn Regierungsdirektor Dr. F. Schnelle in der Abteilung Agrarmeteorologie des Zentralamtes erarbeitet.

Für die Genehmigung, diese Unterlagen für eine Dissertation verwenden zu dürfen, sei dem Herrn Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten an dieser Stelle besonders gedankt.

Den Herren Professoren Dr. G. Jensch und Dr. R. Scherhag sowie Herrn Regierungsdirektor Dr. F. Schnelle gilt mein herzlicher Dank für die wissenschaftliche Betreuung, für wertvolle Anregungen und für ihre stets freundlichen Unterstützungen.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Geogr. E. Freitag, Offenbach a. M., Frankfurter Straße 135, Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Abt. Agrarmeteorologie.

Aufstellung der verwendeten Abkürzungen

Phänologische Zeitspannen:

a Sommergetreide*Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben
a 1 Somergetreide*-Aussaat bis Apfelblüte
a 2 Apfelblüte bis Winterweizen-Ährenschieben
b Winterweizen-Ährenschieben bis Winterweizen-Ernte
c Winterweizen-Ernte bis Winterweizen-Aussaat
d Winterweizen-Aussaat bis Sommergetreide*-Aussaat
e Ackerbaulich nutzbare Zeit (hier abgegrenzt durch Sommergetreide*- und Winterweizen-Aussaat)

* Bei den 4 deutschen Stationen wurde nur der Beginn der Hafer-Aussaat zur Charakterisierung dieser Phase gewählt.

Aufbereitungsarten:

A Abgrenzung der Zeitspannen nach langjährigen mittleren phänologischen Phasen
B Abgrenzung der Zeitspannen nach phänologischen Phasen der Einzeljahre

Klimaelemente bzw. -elementsgruppen:

Tm Tagesmittel (hier: $\frac{Tx + Tn}{2}$)
Tx absolutes Maximum
$T\bar{x}$ mittleres Maximum
Tn absolutes Minimum
$T\bar{n}$ mittleres Minimum
(Tm, Tx, $T\bar{x}$, Tn, $T\bar{n}$: der Lufttemperatur)
S Sonnenscheindauer
N Niederschlagssumme
$\bar{N}$ 5tägig übergreifend gemittelte Niederschlagssumme
PE Potentielle Evapotranspiration (berechnet nach Thornthwaite)
N-PE Klimatische Wasserbilanz

Aufbereitungsmethoden und Klimaelemente werden durch römische Ziffern unterschieden.

Die Lesbarkeit der im Original in sehr viel größeren Formaten vorliegenden Abbildungen ist durch die starke Verkleinerung beim Druck z. T. beeinträchtigt (z. B. Abb. 3, 9 u. 10).

Zusammenfassung

Für 48 vor allem in den Ländern der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft gelegene Stationen und die Periode 1947-1960 wurden tägliche Beobachtungsdaten der Lufttemperatur, der Sonnenscheindauer und des Niederschlags ausgewertet und nach verschiedenen Methoden der phänologischen Klimatologie als agrarklimatologisches Grundlagenmaterial zusammengestellt. Summen, Mittelwerte und Häufigkeitsverteilungen der verschiedenen Klimaelemente oder Klimaelementskombinationen werden als Ergebnis dieser Materialaufbereitung für verschieden lange, nach Eintrittsdaten bestimmter phänologischer Phasen abgegrenzte, für die Landwirtschaft bedeutsame Zeitabschnitte in Karten, graphischen Darstellungen und Tabellen vorgelegt. Die Methoden zur Aufbereitung der phänologischen und klimatologischen Beobachtungen werden mit ihren Mängeln und auch bezüglich ihrer Ausbaumöglichkeiten erläutert. An Beispielen werden Aussagekraft und Anwendbarkeit dieses phänologisch-klimatologischen Materials im Rahmen der großräumigen Agrargeographie und für Einzelprobleme der landwirtschaftlichen Planung umrissen. Außerdem wird die Bedeutung phänologisch-klimatologischer Datenverarbeitungen im Hinblick auf eine großräumige agrarklimatologische Gesamtbewertung, ein agrarklimatologisches Atlaswerk und für die agrarmeteorologische Berichterstattung erörtert.

Abstract

For 48 stations situated mainly in the countries of the European Economic Community and for the period 1947 — 1960 daily observational data of air temperature, sunshine duration and precipitation are evaluated and compiled as agro-climatological basic material according to different methods of phenological climatology. As result of the processing of this material the sums, means and the frequency distributions of the different climatic elements or combinations of climatic elements are presented in the form of charts, graphics and tables for periods of different length limited by the dates of certain phenological phases which are of some importance for agriculture. Some comments are given on the methods of processing the phenological and climatological observations in view of their deficiencies and also of the possibilities of improvement. In the light of examples the information capability and the applicability of this phenological-climatological material is outlined in the framework of a large-scale agricultural geography and for individual problems of agricultural planning. Furthermore the rôle of the processing of phenological-climatological data is discussed in view of an overall large-scale agro-climatological evaluation, agro-climatological atlases and the reporting of agro-meteorological information.

1. Einführung

1.1. Die phänologische Agrarklimatologie in ihrer Bedeutung für die angewandte Agrargeographie

Im Zeitalter der überstaatlichen Agrarpolitik zwingen die zunehmende internationale Wirtschaftsverflechtung und die fortschreitende Technisierung auch die angewandte Agrargeographie zu einer ständigen Weiterentwicklung ihrer Untersuchungs- und Arbeitsmethoden. In früheren Zeiten „konnte sich der selektive, differenzierende Einfluß natürlicher Standortsvorteile wegen der staatlichen Zollschranken nur unvollkommen auswirken“ (1). Nach vollzogener Wirtschaftsintegration können dagegen die einzelnen Agrargebiete nur dann konkurrenzfähig und rentabel wirtschaften, wenn die jeweiligen naturbedingten Besonderheiten klar erkannt und die optimalen Geofaktoren durch ihnen angemessene Betriebsformen* genutzt werden. Die verschiedenen Betriebsformen des gemeinsamen Wirtschaftsraumes müssen außerdem harmonisch zusammenwirken.

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Agrarstruktur einzelner Landschaftsräume analysiert, ihre ursächlichen Zusammenhänge erkannt und zum Zwecke der überregionalen Planung und Agrarstrukturverbesserung vergleichbar dargestellt werden. Neben den vom Menschen geschaffenen oder beeinflußten und von ihm auch weitgehend zu steuernden kulturgeographischen Bedingtheiten — wie Bodenverteilung nach Nutzungsarten und Besitzverhältnissen, Form sowie funktionaler und sozialer Charakter der Siedlungen, Viehbesatz und Mechanisierungsgrad, Absatz- und Vermarktungseinrichtungen, Verkehrserschließung usw. — gilt es, bei der Analyse vor allem auch die natürlichen Gegebenheiten — Relief, Geologie, Boden, Hydrologie, natürliche Pflanzengesellschaften und nicht zuletzt das Klima — zu erfassen. Dabei stellt sich gleichzeitig die mehr oder weniger starke Wechselwirkung oder gegenseitige Beeinflussung der verschiedenen Faktoren heraus. Das Klima z. B., das sich noch weitgehend menschlicher Beeinflussung entzieht, zeigt seinen Einfluß nicht nur auf das Pflanzenwachstum, indem es die Anbauart und den Ertrag mitbestimmt, sondern auch auf die Betriebsform, den Arbeitsrhythmus, die Betriebsorganisation und somit den ganzen landwirtschaftlichen Produktionsprozeß (siehe 5.). Die Planung, die für Maßnahmen, die erforderlich sind, um den Naturhaushalt und das Wirkungsgefüge in Einklang zu bringen und zugleich eine harmonische, leistungsfähige Agrarwirtschaft zu schaffen, muß sich auf Vorarbeiten stützen, die den Zustand und die Struktur einzelner Landschaftsbereiche analysieren. Nur wenn derartiges Grundlagenmaterial vorliegt und das Zusammenwirken der Einzelfaktoren genügend erforscht ist, können die Maßnahmen zur Veränderung oder Verbesserung der Agrarstruktur den gewünschten Erfolg haben (63, 66).

* Der Terminus „Betriebsform“ ist hier mit A n d r e a e (1) als übergeordneter Begriff für Betriebs-, Bodennutzungs-, Fruchtfolge- und Viehhaltungssysteme u. a. m. aufzufassen. Dabei wird durch das Wort „System“ das Ineinandergreifen der verschiedenen Kräfte verstanden, das wiederum die Agrarstruktur eines Raumes bestimmt.

Während bei vielseitigen landwirtschaftlichen Betriebsformen der agrarische Wert eines Gebietes unter klimatologischen Gesichtspunkten immer nur von der Gesamtproduktion her beurteilt werden sollte, die diesem Raum ökologisch entspricht, ist es bei der durch die landwirtschaftliche Technisierung aufgezwungenen Tendenz zur Monokultur bzw. zu einseitigen Betriebsformen notwendig, die klimatische Eignung für bestimmte Feldfrüchte festzustellen (70). Otremba wies darauf hin, daß in der agrarräumlichen Ordnung die Witterung eine nicht minder große Beachtung verdient als das Klima, da die Landwirtschaft nicht nur eine Form, sondern auch ein Vorgang in Raum und Zeit ist. „Bestimmt das Klima die räumliche Ordnung der Nutzungsformen, so bestimmt die Witterung den zeitlichen Ablauf des agrarischen Geschehens." In Gebieten mit mittleren klimatologischen Verhältnissen und den meist vielseitigeren Feldpflanzengemeinschaften kommt es darauf an, eine weitgehende Anpassung von Witterungs- und Arbeitsablauf durch eine günstige Abstimmung der Saat- und Erntezeiten zu finden, um Arbeitsspitzen zu vermeiden. „Je näher aber die agrarische Nutzung an die klimatischen Grenzen heranrückt, umsomehr verlagert sich das Beziehungsproblem von Witterungsverlauf und Nutzpflanzen auf die spezielle Frage der Züchtung der schnellwüchsigen Sorten . . . . . auf die Beziehung zwischen Witterungsverlauf und Pflanzenwachstum. So bestimmen Enge und Weite der Wachstumszeiten und Wachstumsgrenzen die phänologische Problemstellung." (69).

Bis jetzt fehlt ein für landwirtschaftliche Zwecke voll befriedigendes, verwendbares, aussagekräftiges und räumlich sowie sachlich differenziertes agrarklimatologisches Grundlagenmaterial. Man beschränkte sich daher bei weiträumigen Untersuchungen meistens auf die Heranziehung von klimatologischen Monats- und Jahresmittelwerten. In diese gehen jedoch die zeitlich und örtlich wechselnden Witterungsbedingungen, auf die die Kulturpflanze in ihrem Wachstum und Ertrag besonders reagiert, nur in abgeschwächtem Maße ein. Außerdem kann die kalendermäßige Einteilung des Jahres in 12 gleichlange Zeitabschnitte dem von Ort zu Ort zeitlich wechselnden Vegetationsrhythmus nicht entsprechen. Um das Klima und die Witterung als einen der vielen agrargeographischen Differenzierungsfaktoren für einen Großraum, wie es z. B. das Gebiet der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) ist, vergleichbar darzustellen, wurden neue Methoden der Agrarklimatologie entwickelt, die von pflanzenphänologischen*, d. h. wachstumsbedingten Perioden ausgehen. Durch die phänologische Klimatologie kann der Wirkungsfaktor Klima in seinen Beziehungen zur Landwirtschaft analysiert und außerdem können mit ihr die für die Agrarplanung notwendigen Klima- und Witterungsdaten geschaffen werden.

Die phänologisch-klimatologische Arbeitsrichtung, für die Schnelle den Begriff der phänologischen Klimatologie prägte, und die er mit ihren vielen Anwendungsmöglichkeiten an Hand von zahlreichen Beispielen 1951 (87) einführte, ist — wie viele neuere geographische Arbeiten zeigen — nicht nur für agrargeographische, sondern auch für landeskundliche Untersuchungen von großem Nutzen. Sie wird in den vor allem für Geographen geschriebenen Klimatologien von Heyer (35) und Blüthgen (8) erwähnt. Mit den Worten von Jensch (42) wird die Situation der Agrarklimatologie treffend charakterisiert:

„So ist es gewiß ein wenig aussichtsreiches Unterfangen, in bisheriger Manier Begriffe und Werte der traditionellen Klimatologie auf den Agrarraum anzuwenden; aber erfolgversprechend dürfte die Anwendung einer Agrarklimatologie sein, deren Begriffe und Werte speziell auf die Landwirtschaft zugeschnitten sind. Man kann sicherlich nicht behaupten, daß hier kein Arbeitsfeld mehr vorläge."

1.2. Problemstellung, Durchführung und Ziel der Arbeit

In dieser Untersuchung wurden klimatologische Daten nach besonderen landwirtschaftlichen Gesichtspunkten, vornehmlich nach Methoden der phänologischen Klimatologie aufbereitet. Die phänologische Klimatologie stellt eine sehr enge Verbindung zwischen der Klimatologie und der Phänologie dar. Die Eintrittszeiten bestimmter Wachstumsphasen der Pflanzen (phänologische Phasen) werden zur Abgrenzung von wachstumsbedingten Zeitabschnitten (phänologische Zeitspannen) herangezogen. Für diese phänologischen Zeitspannen werden die klimatologischen Daten, z. B. Temperaturen und Niederschläge, zusammengestellt, und zwar nicht nur klimatologische Mittelwerte, sondern auch Summen und relative Häufigkeiten.

Da für die phänologische Klimatologie der Kalendertag die untere Einheit der zeitlichen Abgrenzung ist, aber im allgemeinen für die Stationen noch keine klimatologischen Mittel der Tageswerte berechnet bzw. veröffentlicht werden, verlangt die Anwendung dieser Methode eine neue Aufbereitung der klimatologischen Beobachtungen. Obwohl, wie in 2. im einzelnen noch gezeigt wird, der Auswertungszeitraum mit 14 Jahren so kurz wie klimatologisch gerade noch vertretbar gehalten wurde, die Auswahl der Stationen auf 48 beschränkt blieb und auch nur 3 meteorologische Elemente (Lufttemperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer) zur Auswertung kamen, war die Materialaufbereitung sehr zeitraubend.

Für eine erschöpfende phänologisch-agrarklimatologische Charakterisierung Europas ist bezüglich des zur Verfügung stehenden phänologischen Materials der Zeitpunkt noch zu früh. Außerdem wäre zur Aufbereitung des Klimamaterials für einen so weiten Raum bei einem genügend dichten Stationsnetz und bei Heranziehung einer größeren Anzahl von Klimaelementen die maschinelle Datenverarbeitung eine notwendige Voraussetzung. Obwohl diese Vorbedingungen z. Z. noch nicht gegeben sind, erwiesen sich diese Studien zur phänologischen Agrarklimatologie von Europa aus folgenden Gründen jedoch schon jetzt als notwendig.

Die internationalen Umstellungen der landwirtschaftlichen Betriebsformen erfordern u. a. in immer stärkerem Maße die Anpassung der landwirtschaftlichen Produktionszentren an die optimalen Klimabedingungen. Entsprechend den Klimazonen gilt es also, klimabegünstigte landwirtschaftliche Anbauzonen in verschiedenen Abstufungen herauszuarbeiten. Wie bereits erwähnt wurde, sind weder die optimalen agrarklimatologischen Bedingungen in genügendem Maße erforscht, noch stehen die erforderlichen Klimadaten in entsprechend aufbereiteter und unmittelbar verwertbarer Form zur Verfügung. Da, wie z. B. die Verhandlungen der EWG oder die Probleme der Entwicklungsländer zeigen, die genaue Kenntnis der verschiedenen Agrarräume zum Nutzen aller Beteiligten und zur Vermeidung von Fehlinvestitionen dringend erforderlich ist, darf der Erforschung dieses Fragenkomplexes kein Aufschub gewährt werden, so daß sie mit den bereits jetzt verfügbaren Mitteln vorangetrieben werden muß.

* „Pflanzenphänologie ist die Wissenschaft von den Wachstumserscheinungen und Entwicklungsvorgängen der Pflanzen. Sie hat die Aufgabe, die verschiedenen im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstumserscheinungen der Pflanzen zu beobachten und die Zeit ihres Eintretens festzuhalten . . . sowie die Gesetzmäßigkeiten im periodischen Wachstumsablauf festzustellen und die Abhängigkeit dieses Ablaufs von den Umweltbedingungen zu untersuchen" (90, S. 11).

Mit diesen „Studien zur phänologischen Agrarklimatologie Europas" soll weder das Sachgebiet der phänologischen Agrarklimatologie noch der Gesamtraum Europa eine in sich geschlossene Behandlung erfahren. Diese Studien sind vielmehr, was die Methodik und den Raum anbetrifft, als Teilbeiträge zu einer phänologischen Agrarklimatologie von Europa zu verstehen. Wirtschaftspolitische Gesichtspunkte zwangen zur regionalen Beschränkung, so daß zunächst im wesentlichen nur die Länder der EWG eine Bearbeitung erfuhren.

Karten, graphische Darstellungen und Tabellen, die in 3. beschrieben werden, sind das Ergebnis der Materialaufbereitung nach verschiedenen agrarklimatologischen Gesichtspunkten. Sie sind zugleich als Beiträge zur Methodik der phänologischen Agrarklimatologie aufzufassen und werden als solche in 4. hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit kritisch betrachtet. Darüber hinaus können sie in mehr oder weniger räumlich begrenzter oder differenzierter Weise schon als erste Bausteine für eine Agrarklimatologie Europas gelten. Beispiele der Anwendungsmöglichkeiten dieses phänologisch-klimatologischen Grundlagenmaterials für großräumige agrargeographische Betrachtungen und Einzeluntersuchungen werden in 5. angeführt. Es werden Gedanken, Vorschläge und Bedingungen für eine planmäßige internationale Zusammenarbeit zur Weiterentwicklung der Agrarklimatologie bei Anwendung phänologisch-klimatologischer Arbeitsmethoden dargelegt. Als Ziel ist ein agrarklimatologischer Atlas anzustreben, der eine vielseitig verwendbare Grundlage für landwirtschaftliche Planungen, Gutachten und Forschungen darstellt.

Durch diese Untersuchung sollen Landwirt, Klimatologe und Statistiker angeregt werden, methodische Verbesserungen auszuarbeiten, womit bereits ein wesentlicher Zweck dieser Arbeit, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, sondern vielmehr mit ihren Ergebnissen als Anregungs-, Diskussions- und vorläufige Arbeitsgrundlage dienen will, erreicht wäre. Außerdem sollen die verschiedenen Interessenten — vor allem in der Landwirtschaft, aber auch in anderen Berufs- und Fachkreisen — angeregt werden, die hier entwickelten Gedankengänge und Auswertungsergebnisse in ihren speziellen Arbeitsgebieten anzuwenden und entsprechend auszubauen.

1.3. Bisherige Arbeiten zur großräumigen Agrarklimatologie

Wie bereits einführend geschildert wurde, liegen zur Bearbeitung großräumiger agrarklimatologischer Fragen noch keine den heutigen Agrarverhältnissen und dem derzeitigen Entwicklungsstand der Klimatologie voll gerecht werdende Unterlagen vor. Daher seien einige wenige großklimatologische Darstellungen von Europa genannt, auf die man sich in Ermangelung geeigneterer Unterlagen bisher stützen mußte. Hierzu gehören die von Knoch bearbeiteten und im Text kurz beschriebenen 5 Klimakarten (mittlere Jahressummen des Niederschlags, mittlere Temperaturverteilung im Januar, Juli und Jahr sowie mittlere Jahresschwankung der Lufttemperatur) im Band I des „Welt-Seuchenatlas" (47). Im „Handbuch der Klimatologie" (51) Band III verfaßten Birkeland und Föyn den Teil L: „Klima von Nordwesteuropa und den Inseln von Island bis Franz-Josef-Land" und Alt den Teil M: „Klimakunde von Mittel- und Südeuropa". Besonders im Teil M findet man außer textlichen Beschreibungen und Tabellenmaterial eine Fülle von Europa-Kärtchen der verschiedenen klimatologischen Sachverhalte. Leider geben sie wegen des sehr kleinen Maßstabs nur einen Überblick der Klimaverhältnisse von Europa, sind aber als Unterlage für einzelne Länder kaum als ausreichend anzusehen. Hingewiesen sei auch auf die 10 farbigen Klimakarten von Europa nach Supan, Hettner, Köppen-Geiger, Philippson, von Wißmann, Blair, Gorczynski, Thornthwaite und Creutzburg. Sie wurden als Beilage zu den „Methoden der Klimaklassifikation" (48) gegeben. Dieses Werk, das die Grundzüge der bedeutenden Klimaklassifikationen beschreibt und vergleicht, ist im Rahmen dieser Untersuchung besonders zu empfehlen. Wertvolle Anregungen für die Gestaltung und Auswertung von Klimadaten für die Landwirtschaft und die Pflanzengeographie bietet Papadakis (72) in seinen „Climatic Tables for the World."

In einem kurzen Überblick sollen wichtige agrarklimatologische Untersuchungen, Klassifikationen und Darstellungen angeführt und deren Verwendbarkeit zur agrarklimatologischen Charakterisierung von Großräumen diskutiert werden.

In den letzten Jahren wurde Klimamaterial für den Raum der EWG als Grundlage für landwirtschaftliche Betrachtungen in verschiedenen Veröffentlichungen zusammengestellt. So beschreibt Olsen (68) die klimatischen Grundlagen der Landwirtschaft im EWG-Raum in ihrer Beziehung zur allgemeinen Zirkulation, zur Verteilung von Land und Meer und zur Orographie. Drei Temperaturbereiche grenzt er durch Isolinien der Jahresmitteltemperaturen ab („kühl" unter 8° C, „gemäßigt" 8 bis 12° C, „warm" über 12° C). Die 0°C-Januar-Isotherme, die 22°C-Juli-Isotherme und die Linie von 320 Tagen mit Temperaturen von +5° C und mehr führt er weiterhin zur Temperaturcharakterisierung an. (Letztere - die sogenannte Vegetationsschwelle - soll die Grenze des „immergrünen" Bereichs darstellen, da es dort kaum noch zu einer Kälteruhe kommt. Für den Winter trifft die Bezeichnung zu, nicht aber für den Sommer, wo es gerade in den mit dieser Signatur bezeichneten Gebieten zu Dürreperioden kommt). Auf Grund der mittleren Jahresniederschläge unterscheidet Olsen Gebiete mit drei Stufen („trocken" unter 600 mm, „mäßig feucht" 600 bis 1000 mm, „feucht" über 1000 mm). Er betont, daß für die Möglichkeiten und Grenzen der Landwirtschaft weit bedeutungsvoller als derartige Jahresmittel „der zeitliche Ablauf des klimatischen Geschehens und dabei insbesondere das zeitliche Zusammenspiel von Temperatur und Niederschlägen" ist (68). Mit Klimadiagrammen für 12 Stationen, die die monatlichen Temperaturmittel und Niederschlagssummen enthalten, bietet er einen Ost-West- und einen Nord-Süd-Überblick. Für diese Stationen und die einzelnen Monate wurden, um auch die Verdunstung zu berücksichtigen, ein hydrothermischer Quotient ($Q = \frac{N}{\Sigma T} \cdot 10$) berechnet und mit ihm 4 Feuchtigkeitsgrade unterschieden („überschüssige Feuchtigkeit" über 1,5, „genügende Feuchtigkeit" 1,5 bis 1,0, „Trockenheit" 1,0 bis 0,5, „extreme Dürre" unter 0,5). Diese Werte wurden von Andreae (1) zur Charakterisierung der klimatischen Standortsbedingungen in Europa mit herangezogen. Obwohl für Olsen diese Zusammenstellung von Jahres- und Monatsdaten „auch nicht mehr als ziemlich grobe Anhaltspunkte bedeuten", so vermag er als Landwirt doch in Worten einen allgemeinen Überblick über klimatologisch relativ günstige Standorte für verschiedene Kulturen zu geben.

Agrarklimatologisch weniger befriedigend ist eine gemeinsame Untersuchung der EWG und der OEEC (22) in der für 82 Stationen innerhalb von 32 Agrarregionen die mittleren Zahlen der Frost- und Regentage pro Jahr, die mittleren Januar- und Juli-Temperaturen sowie die Vierteljahres- und Jahresniederschlagsmengen zusammengestellt wurden. Es ist zu bezweifeln, daß wie dort geschrieben wird, „trotz der

innerhalb der einzelnen Region auftretenden Schwankungen an Hand dieser Daten mühelos die klimabedingte Eignung der großen Agrarregionen charakterisiert werden kann."

Eine von Mohrmann und Keßler (63) verfaßte und vom Internationalen Institut für Landgewinnung und Kulturtechnik in Wageningen (Holland) veröffentlichte Arbeit über das Wasserdefizit in der europäischen Landwirtschaft enthält 10 Karten. Diese beinhalten für den europäischen Raum Höhe und Häufigkeit des Maximalniederschlagsdefizits, Periode des Niederschlagsdefizits in Monatsstufen sowie Niederschlagsdefizit Ende Juni, Juli bis September und während der Wachstumszeit des Winterweizens. Die Daten der Wachstumszeit des Winterweizens und der Erträge in den verschiedenen Weizenanbaugebieten wurden dem „Atlas of World Resources", Teil I „The agricultural Resources of the World", von William van Royen (1954) entnommen. Außerdem wird der Maximalniederschlagsüberschuß und die potentielle Verdunstung dargestellt. Die potentielle Evapotranspiration wurde mit der Formel von Turc für 287 europäische Stationen und deren klimatologischen Monatsmittelwerten berechnet. Die Verfasser betonen, daß diese Karten nur für einen großen Überblick und Vergleich, nicht aber für exakte Darstellungen von Einzelgebieten gedacht sind. Auch sollte bei derartigen Wasserbilanz-Untersuchungen eine Materialaufbereitung für kürzere Zeiteinheiten angestrebt werden.

Die verschiedensten Klimabeschreibungen mehr oder weniger großer Landschaftsräume, die dem Landwirt zur Information dienen sollten, spiegeln im allgemeinen noch nicht die schnelle Fortentwicklung wider, die die Agrarmeteorologie in den letzten Jahrzehnten durchgemacht hat. Auf neue agrarmeteorologische Spezialuntersuchungen, die selbstverständlich die notwendigen Bausteine für eine Agrarklimatologie darstellen, sie aber nicht allein ausmachen, wird hier und an anderen Stellen dieses Berichts ausführlicher hingewiesen.

Analysierende agrarklimatologische Betrachtungsweisen haben in den letzten Jahren eine schnelle Fortentwicklung erfahren. Dagegen wurden mehr synoptische, die verschiedensten Faktoren miteinbeziehende Untersuchungsmethoden, die zur Klärung von agrarklimatologischen Standortfragen eine sehr wesentliche Voraussetzung sind, seit den 30er Jahren mit nur wenigen Ausnahmen zunehmend vernachlässigt. Dies ist ein Ausdruck der Tendenz zur Spezialisierung der Fachgebiete. Für den Einzelnen wird der Gesamtüberblick, der die Kenntnis und Fortentwicklung nicht nur des eigenen, sondern auch der benachbarten z. T. artfremden Wissenschaftszweige verlangt, zunehmend schwieriger. So muß z. B. eine Klimabeschreibung oder Klimaklassifikation für die Landwirtschaft auf den Grundlagen der Klimatologie aufbauen, aber darüber hinausgehend den besonderen Belangen der Agrarwissenschaft mit ihren verschiedenen Zweigen (z. B. Pflanzengeographie bzw. Standortlehre, Betriebswirtschaft, Sozialstruktur, Bodenkunde, Forstwirtschaft, Marktwirtschaft, Pflanzenkrankheiten u. a. m.) gerecht werden. Es ist daher nicht verwunderlich, daß zu Beginn dieses Jahrhunderts noch beinahe globale Karten der angewandten Klimatologie entstehen konnten. Aus der Vielzahl herausgegriffen seien nur einige, den Landwirt besonders interessierende, z. B. von dem Agrargeographen Engelbrecht „Die Landbauzonen der außertropischen Länder" (20) oder „Die Landbauzonen der Erde" (21) und die bedeutende Klimaklassifikation von Köppen (49, 50), in der neben dem Jahresablauf von Klimaelementen auch charakteristische Pflanzen und Pflanzengesellschaften zur Abgrenzung herangezogen wurden. „Deutschlands landwirtschaftliche Klimatographie" von Thiele (103) wird seinem Titel in ausgezeichnetem Maße gerecht und behält als Musterbeispiel für derartige Darstellungen bis heute seinen Wert, wenn auch das Klimamaterial entsprechend den inzwischen gewonnenen neuen Beobachtungsergebnissen und Erkenntnissen einer Neubearbeitung und Ergänzung bedarf. Die Grundlagen werden sehr knapp abgehandelt. Die klimatische Beschreibung der Einzelräume, bei der stets auf die landwirtschaftlichen Verhältnisse bezug genommen wird, sind ausführlich gehalten und durch umfangreiches Klimamaterial (Monatsmittel der Temperaturen, Temperaturextreme und -amplituden, Niederschlagsmenge und -tage, relative Feuchte, Bewölkung, Gewittertage, heitere und trübe Tage soweit vorhanden für zahlreiche Stationen) ergänzt. Auch die „Landbauzonen Europas" (115) und die „Klima- und Vegetationsgliederung Deutschlands" von Werth (114) stellen in zum Teil kombinierten Karten die Beziehungen zwischen einzelnen Klimaelementen und der Vegetation dar. Phänologische Phasen sind zur Abgrenzung von Naturräumen in diesen Karten bereits mit dargestellt.

Alle diese Klassifikationen sind für jene Zeit eine große Leistung gewesen, die sich u. a. darin bestätigt, daß auch unsere modernen Lehrbücher (nicht nur die der angewandten Klimatologie, sondern selbst die der reinen Klimatologie) in Ermangelung geeigneter neuerer Bearbeitungen noch auf sie zurückgreifen. Dabei drängt sich natürlich die Frage auf, ob dem Landwirt heute noch Karten der 8 Wegener'schen Klimaprovinzen Deutschlands, der nach Niederschlagshöhe und Jahresschwankungen der Temperatur charakterisierten 34 Klimakreise Mitteleuropas von Hoffmeister oder der 8 Florengebiete nach Walter, wie sie auf S. 170 und 171 der völlig neu bearbeiteten 1959 erschienenen 5. Auflage des „Lehrbuch des Ackerbaus" (75) abgedruckt sind, genügen können. Zweifellos fehlen Klimabeschreibungen und Klimaklassifikationen, die auf die neuzeitlichen landwirtschaftlichen Entwicklungen zugeschnitten sind.

Um diesem Mangel an modernen Agrarklimatologien und der Schwierigkeit, die sich aus der Spezialisierung und dem Anwachsen der einzelnen Fachgebiete ergibt, zu begegnen, wäre es zu begrüßen, wenn Vertreter verschiedener Fachrichtungen dieses Problem gemeinsam bearbeiten würden. Als Ergebnis einer solchen Teamwork, wie sie auf vielen Gebieten und so auch in der Agrarmeteorologie auf internationaler Basis bereits gepflegt wird, sei folgender Bericht (13) erwähnt.

Von der FAO, UNESCO und WMO wurden ein Landwirt und Klimatologe mit der Untersuchung der agrarklimatologischen Bedingungen im Hinblick einer Ausweitung der landwirtschaftlich zu nutzenden Räume in semiariden und ariden Bereichen des Mittelmeergebietes (insbesondere der Länder Libanon, Syrien, Jordanien, Irak und Iran) beauftragt. Niederschlagsmenge, deren Variabilität, mittlere monatliche Minima der Lufttemperatur, Mitteltemperaturen im Winter und Frühjahr sowie die mittlere monatliche potentielle Evapotranspiration, berechnet nach Penman, und durch sie, in Verbindung mit dem Niederschlag, der Bodenwasserhaushalt, wurden vornehmlich untersucht. Dabei stellte sich heraus, daß in diesem Klimabereich mehr als andere Faktoren die Niederschlagsmenge und deren Veränderlichkeit die Grenze des Trockenfeldbaues bestimmen. U. a. beweist sich besonders in der Behandlung von Fragen, wie z. B. der Fruchtwahl, Fruchtfolge, Düngerausnutzung und der Aussaat in Abhängigkeit vom Klima, die fruchtbare Zusammenarbeit der Vertreter zweier verschiedener Fachrichtungen, so daß diese Untersuchung für die landwirtschaftliche Planung bereits eine direkt verwendbare Grundlage sein kann.

Ein räumlich sehr weit geplantes und eine Fülle von klimatologischen Daten bietendes Werk stellt der bis-

her nur in der 1. Lieferung erschienene Klimadiagramm-Weltatlas von Walter und Lieth dar (109). Diese Zusammenstellung von Jahresmittelwerten, Monatsdaten des Niederschlags und der Temperatur sowie deren Verhältnis zueinander und die daraus abgeleiteten Klimaprovinzen können, wie kritische Betrachtungen (25, 37, 41, 59, 92, 98, 99) zeigen, nur mit Vorbehalt empfohlen werden.

Eine Fülle von wertvollen Anregungen mit Anwendungsbeispielen zur Erforschung der Agrarklimate von Großlandschaften bieten die Arbeiten von Schnelle (82 — 96), der die Phänologie in den Dienst der Agrarklimatologie stellt. Die Pflanze spiegelt in ihrem sowohl zeitlich wie physiologisch unterschiedlichem Wachstum alle Umwelteinflüsse und somit auch die klimatischen wider. Daher ist die Pflanze im Lichte der Phänologie und der Phänometrie (90) als ein Meßinstrument zu betrachten, das das Zusammenwirken der verschiedenen meteorologischen Elemente, die mit den üblichen Instrumenten nur einzeln meßbar sind, zu registrieren vermag. So sind schon phänologische Karten, wie Karten mit Linien gleicher Eintrittstermine von pflanzlichen Entwicklungsphasen sowie Karten mit Linien gleicher Andauerzeiten zwischen bestimmten phänologischen Phasen, eine große Bereicherung der Agrarklimatologie. Für speziellere agrarwirtschaftliche Fragen sind „kombinierte phänologische Karten", „kombinierte phänologisch-klimatologische Karten" und „phänologisch-agrarwirtschaftliche Karten" (93) heranzuziehen. Derartige Kartenbeispiele für Europa bzw. für Teilgebiete von Europa sind in den zitierten Veröffentlichungen enthalten. Besondere Beachtung verdient die Karte „Klima und Vegetationszeit in Europa", die mit freundlicher Genehmigung von Schnelle dieser Arbeit als Karte 1 beigegeben werden kann und die für die folgenden Untersuchungen als Einführung und Leitmotiv dienen soll. Auf ihr sind gleichzeitig die Länge der Gesamtvegetationszeit in Europa und Klimadiagramme für verschiedene Orte dargestellt. Die gesamte Vegetationszeit wurde aus der Differenz zwischen Sommergetreide-Aussaat im Frühjahr und Winterweizen-Aussaat im Herbst berechnet. Außerdem wurden für eine Auswahl von Stationen noch der Jahresgang der Lufttemperatur und die monatlichen Niederschlagssummen eingetragen. Die Länge der Vegetationszeit ist für jede Station durch eine horizontale Linie unter den Niederschlagssäulen besonders gekennzeichnet, so daß die Niederschläge und die Temperaturverhältnisse an verschiedenen Stationen stets für den betreffenden Vegetationsabschnitt verglichen werden können (93).

Mit diesen Arbeiten sei das hauptsächlichste agrarklimatologische Grundlagenmaterial für den europäischen Raum erwähnt. Von Einzelgebieten liegen zahlreiche sowohl fachlich als auch regional mehr oder weniger stark spezialisierte Arbeiten vor. Nur die, die für großräumige agrarklimatologische Untersuchungen besonders ausbaufähig erscheinen, werden an geeigneter Stelle in den folgenden Abschnitten zitiert. Dieser kurze Überblick über die für Betrachtungen des europäischen Agrarraumes geeigneten klimatologischen Datenaufbereitungen kann und soll daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Bis auf wenige Ausnahmen basieren sie auf klimatologischen Monats- und Jahresmitteln, die nach den herkömmlichen Methoden mehr oder weniger aufbereitet dargeboten werden. Daher ist es ein Ziel der in den folgenden Abschnitten darzulegenden Untersuchungen, mit ihnen Unterlagen und Bausteine zu schaffen, die die Neubearbeitung landwirtschaftlicher Klimatographien nach der Art von Thiele und Werth mit der von Schnelle eingeführten phänologisch-klimatologischen Arbeitsmethode ermöglichen.

2. Ausgangsmaterial und seine Aufbereitung.

Da in der phänologischen Klimatologie die Klimadaten für phänologische Zeitspannen zusammengestellt und letztere wiederum durch Kalendertage begrenzt werden, bedarf es — wie einführend bereits erwähnt — bei Anwendung dieser Methode einer neuen Aufbereitung der klimatologischen Beobachtungsdaten. Klimawerte für jeden einzelnen Kalendertag, die dann jeweils bei Anwendung beliebiger phänologischer Phasen für bestimmte phänologische Zeitspannen addiert, gemittelt oder ausgezählt werden können, stellen das notwendige Ausgangsmaterial für phänologisch-klimatologische Untersuchungen dar.

Der durch das Forschungsprojekt gesteckte Rahmen — weiter Raum (Länder der EWG) und zeitliche Begrenzung — verlangte von vornherein eine Beschränkung in der Materialaufbereitung. Diese Beschränkung betrifft nicht nur die Auswertungsperiode und die Anzahl der Stationen, sondern auch die Auswahl der meteorologischen Elemente sowie der phänologischen Phasen und Zeitspannen.

2.1. Auswertungsperiode.

Hinsichtlich der Aufbereitungsperiode für die klimatologischen Daten wurde als Mindestmaß eine lückenlose Aufeinanderfolge von 10 Jahren gefordert und eine einheitliche Periode von 14 Jahren angestrebt. Es wurde dabei von der Erfahrung ausgegangen, das in 10 bis 14 Jahren bei den einzelnen meteorologischen Elementen schon eine gewisse witterungsmäßige Variationsbreite erfaßt wird. Für die Niederschlagsauswertung kann allerdings eine 14jährige Periode nur als ein notwendiger aber unbefriedigender Kompromiß angesehen werden. Wenn man bei dem sowohl mengenmäßig wie auch zeitlich und räumlich mehr oder weniger uneinheitlichen Charakter der Niederschläge überhaupt von repräsentativen klimatologischen Mittelwerten sprechen kann, so wäre zur Gewinnung täglicher Niederschlagsmittel eine Periode erforderlich, die die hier gewählte um ein Vielfaches an Länge übertrifft.

In einer Voruntersuchung wurde festgestellt, inwieweit sich eine Veränderung der Periodenlänge oder Anzahl der ausgewerteten Jahre auf die mittleren Klimasummen oder Andauerzeiten phänologischer Zeitabschnitte auswirkt. Dabei erwies sich, daß ein 14jähriger Auswertungszeitraum hier (mit gewissen Vorbehalten) als ausreichend angesehen werden kann.

Die zeitliche Begrenzung der Auswertungsperiode war einerseits durch die zahlreichen Lücken innerhalb der meteorologischen Beobachtungsreihe infolge der Ereignisse des 2. Weltkrieges und andererseits durch den Beginn des Forschungsauftrages im Jahre 1961 gegeben. Aus diesen Gründen wurden die Jahre 1947 bis 1960 zur Auswertung herangezogen.

Für die Stationen Mailand, Tuscania und Uccle konnten allerdings trotz vieler Bemühungen die Daten des Jahres 1960 nicht mehr vor Abschluß der Aufbereitungsarbeiten beschafft werden. Für Padua wurde ausnahmsweise eine abweichende Beobachtungsperiode, und zwar die Jahre 1934 bis 1943, gewählt, da einerseits geeignete Stationen mit längeren Veröffentlichungsreihen der meteorologischen Tagesdaten in dieser Region fehlen, aber andererseits die Poebene eine große landwirtschaftliche Bedeutung hat. Bei verschiedenen Stationen mußte auch innerhalb der gewählten Standardperiode das Fehlen einzelner Tage, einiger Monate und bei Tuscania sogar Jahre mit in Kauf genommen werden. Angaben über die Auswertungsperioden enthält die Tabelle 1.

Tab. 1
Stationsverzeichnis und Auswertungsperioden

Land	Stationsname		Geogr. Breite	Geogr. Länge	Höhe (m)	Temperatur		Niederschlag		Sonnenscheindauer	
	Kurzform	Zusätze				Zahl der Jahre	Periode	Zahl der Jahre	Periode	Zahl der Jahre	Periode
Norwegen	Bergen	-Frederiksberg	60° 24′ N	5° 19′ E	43	14	1947—60	14	1947—60	8/9	1952/1953—60
	Oslo	-Blindern	59° 56′ N	10° 44′ E	94	14	1947—60	14	1947—60	8/9	1952/1953—60
Schweden	Karlstad	-Flugplatz	59° 22′ N	13° 28′ E	47	14	1947—60	14	1947—60	—	—
	Stockholm	-S. M. H. I.	59° 21′ N	18° 04′ E	44	14	1947—60	14	1947—60	—	—
	Växjö		56° 53′ N	14° 49′ E	180/168	14	1947—60	14	1947—60	—	—
Dänemark	Tylstrup		57° 11′ N	9° 57′ E	13	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Kopenhagen	-Landbauschule	55° 41′ N	12° 33′ E	9	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
Irland	Shannon	-Flugplatz	52° 41′ N	8° 55′ W	6	11	1950—60	11	1950—60	11	1950—60
	Dublin	-Flugplatz	53° 26′ N	6° 15′ W	80	11	1950—60	11	1950—60	11	1950—60
England	London	Kew-Obs.	51° 28′ N	0° 19′ W	6	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
Niederlande	Den Helder		52° 58′ N	4° 45′ E	4	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	De Bilt		52° 06′ N	5° 11′ E	3	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Eelde	Groningen	53° 12′ N	6° 34′ E	2	4	1947—50	4	1947—50	4	1947—50
		Eelde-Flugpl.	53° 08′ N	6° 35′ E	4	10	1951—60	10	1951—60	10	1951—60
	Vlissingen		51° 28′ N	3° 35′ E	5	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Süd-Limburg	Maastricht	50° 51′ N	5° 41′ E	49	4	1947—50	4	1947—50	4	1947—50
		Flugpl. Süd-Limburg	50° 55′ N	5° 46′ E	115	10	1951—60	10	1951—60	10	1951—60
	Winterswijk		51° 58′ N	6° 43′ E	33	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
Belgien	Uccle		50° 48′ N	4° 21′ E	100	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
Deutschland	Hamburg	-Fuhlsbüttel	53° 38′ N	10° 00′ E	14	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Aachen	-Obs. (Mohnheimsallee)	50° 47′ N	6° 06′ E	202	14	1947—60	14	1947—60	14	(1947—60)
	Münster	-Handorf	51° 58′ N	7° 36′ E	64	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Karlsruhe		49° 01′ N	8° 23′ E	115	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
Frankreich	Lille	-Lesquin	50° 35′ N	3° 05′ E	55/43	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Brest	-Guipavas	48° 27′ N	4° 25′ W	98	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Cherbourg	-Chantereyne	49° 39′ N	1° 38′ W	8	14	1947—60	14	1947—60	—	—
	Paris	-Montsouris	48° 49′ N	2° 20′ E	75	8	1953—60	8	1953—60	8	1953—60
		-Le Bourget	48° 57′ N	2° 26′ E	48	8	1948—52, 1958—60	8	1948—52, 1958—60	3	1958—60
		-St. Maur	48° 49′ N	2° 30′ E	50	1	1947	1	1947	1	1947
	Straßburg	-Entzheim	48° 33′ N	7° 38′ E	151	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Nantes	-Château Bougon	47° 10′ N	1° 37′ W	26	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Le Mans	-Arnage	47° 56′ N	0° 12′ E	52	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Tours	-St. Symphorien	47° 25′ N	0° 45′ E	96	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Châteauroux	-La Martinerie	46° 49′ N	1° 46′ E	156	6	1947—52	6	1947—52	6	1947—52
		-Déols	46° 50′ N	1° 43′ E	160	3	1958—60	3	1958—60	3	1958—60
		-Bourges	47° 04′ N	0° 22′ E	157	8	1953—60	8	1953—60	8	1953—60
	Auxerre	-Monéteau	47° 50′ N	3° 34′ E	95	4	1947—50	4	1947—50	4	1947—50
		-St. Georges	47° 48′ N	3° 33′ E	207	10	1951—60	10	1951—60	10	1951—60
	Dijon	-Longvic	47° 16′ N	5° 06′ E	220	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Angoulême	-Bel-Air	45° 41′ N	0° 14′ E	83	11/12	1947—57/58	11/12	1947—57/58	11/12	1947—1957/58
		-Cognac-Château Bernard	45° 40′ N	0° 19′ W	30	1	1960	1	1960	1	1960
	Le Puy	en Velay-Chadrac	45° 03′ N	3° 54′ E	714	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Lyon	-Bron	45° 43′ N	4° 55′ E	196	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	St. Jean de Luz		43° 21′ N	1° 40′ W	24	9	1947—55	9	1947—55	—	—
		Biarritz-Anglet	43° 28′ N	1° 32′ W	69	5	1956—60	5	1956—60	5	1956—60
	Toulouse	-Francazal	43° 33′ N	1° 23′ E	161	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Perpignan	-Llabanère	42° 44′ N	2° 52′ E	43	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Montpellier	-Fréjorgues	43° 35′ N	3° 58′ E	5/3	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Toulon	-La Mître	43° 06′ N	5° 55′ E	28	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Nizza	-Le Var/Côte d'Azur	43° 40′ N	7° 13′ E	4	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
Italien	Pavia		45° 11′ N	9° 08′ E	77	14	1947—60	14	1947—60	14	1947—60
	Mailand	-Brera-Obs.	45° 28′ N	9° 11′ E	147	13	1947—59	13	1947—59	13	1948—60
	Padua		45° 24′ N	11° 52′ E	12	10	1934—43	10	1934—43	10	1934—43
	Tuscania		42° 25′ N	11° 52′ E	166	10	1947, 1951—59	10	1947, 1951—59	—	—
	Rom	-U. C. M.	41° 54′ N	12° 29′ E	51	14	1947—60	13	1947—59	14	1947—60
	Bari (Obs.)	-Obs.	41° 07′ N	16° 52′ E	12	14	1947—60	14	1947—60	—	—
	Bari (Agr. St.)	-Agr. St.	41° 07′ N	16° 53′ E	12	11	1950—60	10	1951—60	9	1952—60

2.2. Stationen

Die Auswahl der für eine phänologisch-agrarklimatologische Untersuchung im europäischen Raum verwendbaren Klimastationen war gering und wurde im wesentlichen durch die Festlegung auf die soeben geschilderte Periode und die zur Aufbereitung gewünschten Klimaelemente bestimmt. Nur von verhältnismäßig wenigen Stationen werden in den meteorologischen Jahrbüchern der jeweiligen Länder tägliche Beobachtungsdaten veröffentlicht. Derartige Veröffentlichungen waren aber Voraussetzung für die Durchführung der Untersuchung, da die Bearbeitung von angeforderten, noch unveröffentlichten Daten oder — als nicht vollwertiger Ersatz — die synoptischen Meldungen den Arbeitsaufwand erheblich vergrößert hätten. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß bei Einbeziehung von unveröffentlichten Daten der Anteil der dem Material anhaftenden Fehler noch größer ist. Von einigen Stationen mußten jedoch fehlende, bisher unveröffentlichte Daten einzelner Elemente und Jahre beschafft werden, da eine möglichst weitgehende Lückenlosigkeit im Hinblick auf eine gute Vergleichbarkeit angestrebt wurde.

Manche regional begrenzten landwirtschaftlichen Gesichtspunkte konnten aus den geschilderten Gründen leider bei der Stationsauswahl nicht genügend berücksichtigt werden. Allerdings wurde angestrebt, die wichtigsten Anbaugebiete der EWG-Staaten durch Stationen zu erfassen. Mit Ausnahme von Le Puy wurden nur im Flachland oder am Gebirgsrand gelegene Stationen herangezogen. Le Puy wurde gewählt, da in geschützten Becken des französischen Zentralmassivs die Landwirtschaft eine nicht unbedeutende Rolle spielt und der Gebirgseinfluß, der zwar in diesem Rahmen nicht gesondert untersucht werden konnte, agrarklimatologisch von Interesse ist.

Das Hauptgewicht wurde bei der Stationsauswahl auf den EWG-Raum (38 Stationen) gelegt. Die Erfassung der grundsätzlichen phänologisch-agrarklimatologischen Variationsmöglichkeiten in Abhängigkeit von der geographischen Lage machte darüber hinaus noch die Heranziehung von 10 Stationen in Norwegen, Schweden, Dänemark, Irland und England notwendig. Sie sollen die interpolationsweise klimatologische Charakterisierung von Agrargebieten, die zwischen den ausgewählten meteorologischen Stationen liegen, erleichtern.

Einen geographischen Überblick der ausgewählten Stationen bietet die Stationskarte (Abb. 2). In der Tabelle 1 wurden nähere Bezeichnungen sowie geographische Koordinaten und Höhen von den zu dieser Untersuchung herangezogenen Stationen zusammengestellt. Da die Veröffentlichungen, die zur Auswertung der meteorologischen Tagesdaten herangezogen wurden, z. T. gar keine, z. T. fehlerhafte oder während der Auswertungsperiode mehr oder weniger stark voneinander abweichende Angaben zur Lage der Station enthielten, mußten oftmals andere Veröffentlichungen mit Stationsangaben zur Lokalisierung herangezogen werden. Die in der 3. bis 6. senkrechten Spalte der Tabelle 1 der Vollständigkeit halber aufgeführten zusätzlichen Stationsangaben können daher bei einzelnen Stationen für Teile der Beobachtungsperiode bzw. für einzelne Klimaelemente geringfügig von den wahren Stationsverhältnissen abweichen.

Bei einigen unvollständigen Beobachtungsreihen wurden fehlende Jahre durch Nachbarstationen ergänzt. Dies geschah bei Stationsverlegungen innerhalb der Auswertungsperiode (Angoulème/Cognac, St. Jean de Luz/Biarritz, Maastricht/Flugplatz Süd-Limburg, Groningen/Eelde) oder bei unvollständigen Reihen verschiedener Stationen innerhalb einer Stadt (Paris), um nicht ganz auf die Daten der Teilreihen verzichten zu müssen. Zu Überschneidungen des Auswertungszeitraumes kam es bei den Pariser Stationen und bei Châteauroux/Bourges.

In Abbildungen, Tabellen und im Text wird jeweils nur die Kurzform des Stationsnamens (Tab. 1 Spalte 2) verwendet. Um einen geographischen Vergleich der einzelnen Stationswerte zu erleichtern, wurden bei den in graphischen Darstellungen und Tabellen dargestellten Auswertungsergebnissen die Stationen nach ihrer geographischen Breite jeweils für 2-Grad-Felder zusammengefaßt und innerhalb dieser von West nach Ost angeordnet.

Genaue Beschreibungen der örtlichen Gegebenheiten an den Auswahlstationen waren kaum zu ermitteln, so daß es meist schwierig ist, abzuschätzen, inwieweit die Stationen im agrarklimatologischen Sinn repräsentativ für ihre Umgebung sind. In 3. wird auf markante Fälle, bei denen sich die ermittelten agrarklimatologischen Daten als nicht genügend repräsentativ für die weitere Umgebung der Station erwiesen haben, hingewiesen.

2.3. Klimaelemente

Die Zahl der zu untersuchenden verschiedenen Klimaelemente wurde im wesentlichen durch die in den meteorologischen Jahrbüchern zur Veröffentlichung gebrachten Tagesdaten bestimmt. Da nur von wenigen meteorologischen Elementen tägliche Daten in regelmäßiger Folge veröffentlicht werden, war die Auswahl sehr gering.

Tägliche Niederschlagsmengen waren für verhältnismäßig viele Stationen zu finden. Bei einer späteren Ausweitung dieses Materials läßt sich eine Verdichtung des Niederschlags-Stationsnetzes, die bei der regionalen Differenziertheit der Niederschläge unbedingt anzustreben ist, ohne Schwierigkeiten durchführen. Unterschiedliche Niederschlagsarten und nicht meßbare Niederschläge blieben für diese Auswertung unberücksichtigt.

Viel kleiner war die Auswahl an Stationen bei den Temperaturbeobachtungen. Da die Methoden zur Berechnung der Tagesmittel in den einzelnen Ländern unterschiedlich sind, und daraus resultierende regionale Abweichungen ausgeschaltet werden sollten, wurde die Auswertung auf die täglichen Maxima und Minima beschränkt. Die täglichen Temperaturextreme haben ohnehin für landwirtschaftliche Betrachtungen eine größere Bedeutung als das Tagesmittel. Auch läßt sich aus ihnen unschwer ein — zwar in der Klimatologie nicht überall anerkanntes — einheitliches und damit vergleichbares Mittel $\frac{\text{Max} + \text{Min}}{2}$ errechnen.

Die Bestimmungen über Ablesungstermine und Zuschreibung der Extremtemperaturen ändern sich von Land zu Land geringfügig. Für die folgenden, vor allem methodischen agrarklimatologischen Betrachtungen haben etwaige Abweichungen kaum grundsätzliche Veränderungen zur Folge und können daher vernachlässigt werden.

Hinsichtlich der Höhe der Thermometeraufstellung liegen für alle Länder Europas noch keine einheitlichen Richtlinien vor. Überhaupt sind die Temperaturbeobachtungen in 2 m Höhe über dem Erdboden für agrarklimatologische Zwecke nicht voll befriedigend. Die Wachstumsphäre der meisten Kulturpflanzen liegt darunter und zeichnet sich damit, besonders bei Strahlungslagen, durch stärkere Temperaturschwankungen aus. Vom agrarklimatologischen Standpunkt aus sind Temperaturmessungen und -auswertungen in verschiedener Höhe über dem Erdboden und in verschiedenen Bodentiefen erwünscht, wie sie auf agrarmeteorologischen Stationen vielfach bereits durchgeführt werden.

Für großräumige Auswertungen reichen diese wenigen Meßreihen jedoch jetzt noch nicht aus. Als ein Beispiel für Temperaturdifferenzen infolge unterschiedlicher Meßhöhe soll Bari gelten. Die Höhe der Geräteaufstellung über dem Erdboden beträgt für Bari (Obs.) 28 m, für Bari (Agr. Stat.) 1,5 m.

Außerdem kann sich die besondere Lage einzelner Stationen in charakteristischen Abweichungen der Temperatur ausdrücken. Die Temperaturen können bei Stadtstationen durch den erwärmenden Stadteinfluß verfälscht sein. Bei den zur zeitlichen Begrenzung herangezogenen phänologischen Daten, die Gebietsmittel darstellen und somit einen weiteren Raum repräsentieren, wurde der Stadteinfluß, der Abweichungen von mehreren Tagen zur Folge haben kann, ausgeschaltet. Auch bei Stationen auf Gebäuden oder Bodenerhebungen, die häufig oberhalb einer kälteren Bodenluftschicht liegen, sind mehr oder weniger starke Temperaturverfälschungen festzustellen. Im Winter kann sich z. B. eine wärmebegünstigte Lage im Vergleich zur Umgebung sowohl durch geringere Zahl der Frosttage als auch durch geringere Froststrenge auszeichnen. Dies war einer der Gründe, weshalb die Temperaturauswertungen nicht nur für Rom (Höhe über Erdboden mit 34 m angegeben) vorgenommen wurden, sondern auch für das vom Stadteinfluß weniger verfälschte, allerdings mehr am Appeninrand gelegene Tuscania.

Registrierungen der für die Landwirtschaft sehr bedeutungsvollen Strahlungsintensität liegen nur für vereinzelte Stationen und nur ausnahmsweise für genügend lange Perioden vor. Obwohl deren phänologisch-agrarklimatologische Aufbereitung für Spezialuntersuchungen sehr lohnend und notwendig erscheint, beschränkte man sich hier auf die Auswertung der Sonnenscheindauer. Lückenlose und instrumentell einheitliche Veröffentlichungen von täglichen Sonnenscheindaten waren leider nicht für alle ausgewählten Stationen und oftmals nicht für den ganzen Zeitraum erhältlich (siehe Tab. 1). Die Einheitlichkeit der Registriergeräte und der Geräteaufstellung läßt bezüglich dieses Elements sehr zu wünschen übrig. In die Aufzeichnungen der Sonnenscheindauer geht neben der geographischen Breite und der Bewölkung auch die Horizontbegrenzung mit ein. Letztere kann durch besondere lokale Verhältnisse (Bauwerke, Bäume, Wälder, Berge), über die in den Klimaunterlagen kaum Hinweise zu finden sind, beeinflußt sein. Außerdem ergeben sich große Unsicherheiten in der Vergleichbarkeit der Sonnenscheinauswertungen verschiedener Stationen. Unterschiede im Instrumententyp, -material und -alter sowie — trotz einheitlicher Vorschriften — in der Auswertung der Registrierungen können zu erheblichen Abweichungen der einzelnen Tagesdaten und der Mittel führen.

Für die ausgewählten Stationen wurden also für jedes Jahr die täglichen Daten der beiden Temperaturextreme, der Niederschlagsmenge und der Sonnenscheindauer in Monatstabellen zusammengestellt. Daraufhin wurden aus den Monatstabellen für die einzelnen drei Klimaelemente die 14jährigen Summen und Mittel eines jeden Kalendertages berechnet und für jede Station in Jahresübersichtstabellen eingetragen. In diese wurden die phänologischen Phasen eingezeichnet und danach für phänologische Zeitspannen die Summen und Mittel gebildet.

Außerdem stellten die Monatstabellen die Grundlage für die Häufigkeitsauszählungen bestimmter Frosttage sowie für die Auszählung nach Temperaturstufen und Niederschlagsmengenstufen dar. Lediglich für die vier deutschen Stationen, für die das Beobachtungsmaterial in Lochkarten vorliegt, konnten diese Auszählungen z. T. maschinell vorgenommen werden.

Die Aufbereitung weiterer klimatologischer Daten, wie z. B. die der Wind- und Luftfeuchtigkeits-Registrierungen, die zwar für die Landwirtschaft auch von großem Nutzen sind, hätte den Rahmen dieses Forschungsauftrages gesprengt und muß deshalb späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Die landwirtschaftlich sehr bedeutungsvolle Größe der Verdunstung wurde für ausgewählte Stationen annäherungsweise berechnet. Das zur Verfügung stehende Material der ausgewerteten meteorologischen Elemente ließ von zahlreichen Methoden zur Berechnung der Verdunstung nur eine anwendbar erscheinen. Auf Grund von Tagesdaten der Mitteltemperatur und Niederschlagsmenge wurde die potentielle Evapotranspiration nach Thornthwaite berechnet und eine Häufigkeitsauszählung bestimmter Stufen vorgenommen. Als ein Ausdruck der klimatischen Wasserbilanz wurde weiterhin die Differenz zwischen Niederschlagsmenge und potentieller Evapotranspiration angesehen. Eine gewisse Inhomogenität enthalten diese Berechnungen, da in den einzelnen Ländern die Beobachtungen von Temperatur und Niederschlag zu verschiedenen Terminen angestellt und somit die Daten nicht voll übereinstimmenden Tagesabschnitten zugeschrieben werden. Die Parallelisierung von Temperatur und Niederschlagsdaten ist daher nicht ganz identisch, und die Vergleichbarkeit der Daten verschiedener Länder ist im strengen klimatologischen Sinne nur bedingt gegeben, wie an folgenden Beispielen für 3 Länder gezeigt werden soll:

Frankreich:	N:	6^{00} Stichtag	bis	6^{00} Folgetag
	Tx:	6^{00} Stichtag	bis	6^{00} Folgetag
	Tn:	18^{00} Vortag	bis	18^{00} Stichtag
also Tm aus	$\frac{Tx + Tn}{2}$:	18^{00} Vortag	bis	6^{00} Folgetag
Niederlande:	N:	8^{00} Vortag	bis	8^{00} Stichtag
	Tn, Tx:	8^{00} Vortag	bis	8^{00} Stichtag
Schweden:	N:	7^{00} Stichtag	bis	7^{00} Folgetag
	Tn, Tx:	19^{00} Vortag	bis	19^{00} Stichtag.

Dies ist ein Mangel, der sich mehr bei Einzeltagsberechnungen als bei Pentadenberechnungen auswirkt.

2.4. Phänologische Phasen und Zeitspannen

Die zur Verfügung stehenden phänologischen Daten sind für den europäischen Raum noch sehr spärlich. Schnelle stellte freundlicherweise aus seinen fünf phänologischen Europa-Karten (96) für die 49 ausgewählten meteorologischen Stationen die Gebietsmittel der entsprechenden Phasen zusammen.

Es handelt sich um die Phasen:

Sommergetreide-Aussaat*)
Apfel-Blüte
Winterweizen-Ähreschieben
Winterweizen-Ernte
Winterweizen-Aussaat.

Auf Grund dieser Daten konnten folgende phänologische Zeitspannen abgegrenzt und für die Untersuchung verwendet werden:

a Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ähreschieben
  a 1 Sommergetreide-Aussaat bis Apfel-Blüte
  a 2 Apfel-Blüte bis Winterweizen-Ähreschieben
b Winterweizen-Ähreschieben bis Winterweizen-Ernte
c Winterweizen-Ernte bis Winterweizen-Aussaat

*) Bei den 4 deutschen Stationen wurde nur der Beginn der Hafer-Aussaat zur Charakterisierung dieser Phase gewählt.

d Winterweizen-Aussaat bis Sommergetreide-Aussaat

e Ackerbaulich nutzbare Vegetationszeit (Hier in Ermangelung geeigneterer Phasen abgegrenzt durch Sommergetreide- und Winterweizen-Aussaat, obwohl sie im allgemeinen bereits vorher beginnt und erst später endet.)

Andere phänologische Phasen standen einheitlich für diesen Raum nicht zur Verfügung. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß eine phänologisch-klimatologische Materialaufbereitung für weitere Vegetationsabschnitte, evtl. auch für solche wildwachsender Pflanzen, wünschenswert erscheint. Besonders letztere sind als Klimaanzeiger geeignet, da sie von menschlichen Einflüssen, wie Züchtung und anbautechnische Maßnahmen, noch weitgehend unabhängig sind.

Beeinträchtigt wurde diese Untersuchung durch die Tatsache, daß für die außerdeutschen Gebiete kaum phänologische Eintrittstermine der einzelnen hier untersuchten Vegetationsjahre zur Verfügung stehen. Für das Gros der Stationen konnten daher nur Klimadaten für mittlere phänologische Zeitspannen zusammengestellt werden, die z. T. aus anderen Jahren abgeleitet wurden.

Da jedoch die pflanzlichen Entwicklungsvorgänge in starkem Maße durch die Witterung beeinflußt werden, ist ein jeder Phasenbeginn von Jahr zu Jahr großen Schwankungen unterworfen und weicht in den Einzeljahren mehr oder weniger stark vom langjährigen Mittel ab. Es wurde daher in einer Voruntersuchung zunächst festgestellt, inwieweit die phänologischen Mittelwerte als ausreichend für diese agrarklimatologischen Betrachtungen angesehen werden können, d. h. wie groß die Abweichungen der Summen bestimmter Klimafaktoren von phänologischen Zeitspannen sind, wenn die Zeitspannen einerseits nach phänologischen Daten der Einzeljahre und andererseits nach langjährigen mittleren phänologischen Daten abgegrenzt werden.

Da für Deutschland sowohl langjährige phänologische Mittel als auch die phänologischen Termine der Einzeljahre vorliegen, wurden für die Voruntersuchung die 4 deutschen Stationen und die Periode 1947 — 1958 gewählt. In der Tabelle 2 sind für diese Stationen die Klimasummen der 12 Jahre sowie die Jahres- und Tagesmittel für 3 phänologische Zeitspannen zusammengestellt, wie sie sich aus der Abgrenzung nach langjährigen mittleren phänologischen Daten (A) und nach den entsprechenden Daten der Einzeljahre (B) ergeben. Unter C enthält die Tabelle die Differenzen der 12 Jahressummen (A — B) sowie deren prozentuale Anteile, bezogen auf die Summe von B (100%).

Für die 12jährigen Niederschlagssummen ergaben sich folgende hohe prozentuale Abweichungen

Hamburg	b:	—8,2%
Karlsruhe	c:	+6,2%
Karlsruhe	a:	+5,3%
Hamburg	a:	+5,0%.

Der Niederschlag zeichnet sich erfahrungsgemäß immer durch höhere Schwankungen aus. Alle übrigen relativen Abweichungen liegen unter 5%. Für die Sonnenscheindauersummen sind die höchsten prozentualen Abweichungen

Aachen	c:	—4,9%
Münster	b:	—4,7%

für die Temperaturen

Aachen	c:	—4,1%
Aachen	b:	+3,2%.

Im Mittel der 4 Stationen und 3 Andauerzeiten beträgt die relative Abweichung für die Temperatur* 1,3%, für die Sonnenscheindauer 2,5% und für die Niederschlagsmenge 3,5%.

Vergleicht man für die oben herausgezogenen extremen Fälle die Werte der absoluten Abweichungen (C) mit denen der Jahresmittel (B), so muß man allerdings feststellen, daß die Abweichungen beim Niederschlag bis an die Größenordnung eines Jahresmittels heranreichen —

		C	B
Hamburg	b:	137,9 mm	140,9 mm
Karlsruhe	c:	126,4 mm	168,6 mm
Karlsruhe	a:	76,5 mm	121,0 mm
Hamburg	a:	80,2 mm	133,5 mm

— beim Sonnenschein noch über der Hälfte des Jahresmittels —

		C	B
Aachen	c:	268,4 h	456,4 h
Münster	b:	182,5 h	350,1 h

— und bei der Temperatur nur knapp darunter liegen —

		C	B
Aachen	c:	579,4° C	1189,6° C
Aachen	b:	342,4° C	903,1° C.

Diese Abweichungen der Klimasummen stellen jedoch kein objektives Maß für die Zufälligkeit der Signifikanz der Differenzen dar. Deshalb wurden die klimatologischen Mittelwerte statistisch getestet. Der geringe Stichprobenumfang ($N \leqq 12$) zwang zur Benutzung des t-Testes an Stelle des rechnerisch einfacheren u-Testes. Bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ und (2 N — 2) Freiheitsgraden blieben die errechneten t-Werte weit unterhalb der Signifikanzschwelle, d. h. die Mittelwertsdifferenzen lagen sämtlich im Zufallsbereich. Der Test ergab, daß es für die deutschen Stationen gerechtfertigt ist, Mittelwerte für phänologische Zeitspannen unter Benutzung langjähriger mittlerer phänologischer Daten an Stelle der entsprechenden Daten der einzelnen Vegetationsjahre zu berechnen.

Soweit zur Unterscheidung und kürzeren Formulierung erforderlich, werden im Folgenden die phänologisch-klimatologischen Daten, die nach langjährigen mittleren phänologischen Phasen aufbereitet wurden, mit A und diejenigen, die nach phänologischen Phasen der Einzeljahre aufbereitet wurden, mit B bezeichnet. — Die phänologischen Termine der Einzeljahre wurden von Schnelle durch die Abweichung der Gebietsmittel im Einzeljahr vom langjährigen Mittel berechnet.

Die Genauigkeit der phänologischen Daten darf nicht überschätzt werden. So stellte Schnelle z. B. beim Zusammenfügen der phänologischen Karten einzelner Länder, denen unterschiedliche Perioden zugrundeliegen, zu geschlossenen Europakarten geringfügige Abweichungen fest (96). Im mitteleuropäischen Raum ist das Mittel der Periode 1936 — 1960 gegenüber demjenigen der Periode 1901 — 1942 (bzw. 1930 — 1939) im Frühsommer früher (für Deutschland macht das beim Winterweizen-Ährenschieben etwa 2½ Tage aus). Besonders früh ist das Mittel der Periode 1943 — 1953. Diese Abweichungen spielen bei langen phänologischen Zeitspannen eine geringere Rolle als bei kurzen (2 Tage bedeuten z. B. bei einer 20tägigen Zeitspanne 1/10, bei einer 40tägigen nur 1/20). Außerdem werden sie durch die im allgemeinen gleichsinnige Verschiebung des Zeitspannenanfangs und -endes ausgeglichen.

3. Ergebnisse phänologisch-klimatologischer und klimatologischer Auswertungsmethoden

In Abbildungen und Tabellen werden die Ergebnisse der nach phänologisch-klimatologischen Gesichtspunkten aufbereiteten Beobachtungsdaten vorgelegt. Von einigen

* Bei dieser Voruntersuchung wurde das Tagesmittel $\frac{7\,h + 14\,h + 2 \times 21\,h}{4}$ getestet.

Tab. 2

12 Jahressummen (1947—1958) von drei meteorologischen Elementen mit den entsprechenden Jahres- und Tagesmitteln für drei phänologische Zeitspannen und vier Stationen
A Abgrenzung der Zeitspannen nach langjährigen mittleren phänologischen Eintrittsterminen
B Abgrenzung der Zeitspannen nach phänologischen Eintrittsterminen der Einzeljahre
C Absolute und relative Abweichung der 12 Jahressummen von B gegenüber denen von A

Station			a Hafer-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben				b Winterweizen-Ährenschieben bis Winterweizen-Ernte				c Winterweizen-Ernte bis Winterweizen-Aussaat			
			Zahl der Tage	Temperatur-summe (° C)	Niederschlags-summe (mm)	Sonnenschein-dauer (Std.)	Zahl der Tage	Temperatur-summe (° C)	Niederschlags-summe (mm)	Sonnenschein-dauer (Std.)	Zahl der Tage	Temperatur-summe (° C)	Niederschlags-summe (mm)	Sonnenschein-dauer (Std.)
Hamburg	A	12 Jahre	876	9461,9	1682,7	6273,0	624	10241,3	1553,4	4522,4	804	11494,4	1958,9	4642,3
		Jahresmittel	73	788,5	140,2	522,8	52	853,3	129,5	378,5	67	957,9	163,2	386,9
		Tagesmittel		10,8	1,9	7,2		16,4	2,5	7,2		14,3	2,4	5,8
	B	12 Jahre	897	9455,8	1602,5	6411,4	634	10381,7	1691,3	4586,7	784	11376,1	1895,1	4595,4
		Jahresmittel	74,8	788,0	133,5	534,3	52,8	865,1	140,9	382,2	65,3	948,0	157,9	383,0
		Tagesmittel		10,5	1,8	7,1		16,4	2,7	7,2		14,5	2,4	5,9
	C	absolute Abweichung		+6,1	+80,2	—138,4		—140,4	—137,9	—64,3		+118,3	+63,8	+46,9
		der 12 Jahressummen		0,1	5,0	2,2		1,4	8,2	1,4		1,0	3,4	1,0
		prozent. Abweichung												
Münster	A	12 Jahre	864	9563,0	1467,2	5404,1*	636	10543,7	1782,6	3668,6*	924	13495,9	2001,0	4377,1*
		Jahresmittel	72	796,9	122,3	450,3	53	878,6	148,6	333,5	77	1124,7	166,8	397,2
		Tagesmittel		11,1	1,7	6,8		16,6	2,8	6,3		14,6	2,2	5,2
	B	12 Jahre	871	9498,2	1519,7	5460,1*	643	10674,2	1780,6	3851,1*	909	13417,7	1976,6	4243,6*
		Jahresmittel	72,6	791,5	126,6	496,4	53,6	889,5	148,4	350,1	75,8	1118,1	164,7	385,8
		Tagesmittel		10,9	1,5	6,7		16,6	2,8	6,4		14,8	2,2	5,2
	C	absolute Abweichung		+64,8	—52,5	—56,0		—130,5	+2,0	—182,5		+78,2	+24,4	+134,5
		der 12 Jahressummen		0,7	3,5	1,0		1,2	0,1	4,7		0,6	1,2	3,2
		prozent. Abweichung												
Aachen	A	12 Jahre	852	9773,8	1891,9	5506,3	660	11179,4	1854,7	4361,4	936	13696,0	2172,8	5208,4
		Jahresmittel	71	814,5	157,7	458,9	55	931,6	154,6	363,5	78	1141,3	181,1	434,0
		Tagesmittel		11,5	2,2	6,5		16,9	2,8	6,6		14,6	2,3	5,6
	B	12 Jahre	867	9770,1	1922,2	5464,7	644	10837,0	1786,8	4210,5	959	14275,4	2175,7	5476,8
		Jahresmittel	72,3	814,2	160,2	455,4	53,7	903,1	148,9	350,9	80,0	1189,6	181,3	456,4
		Tagesmittel		11,3	2,2	6,3		16,8	2,8	6,5		14,9	2,3	5,7
	C	absolute Abweichung		+3,7	—30,3	+41,6		+342,4	+67,9	+150,9		—579,4	—2,9	—268,4
		der 12 Jahressummen		0,0	1,6	0,8		3,2	3,8	3,6		4,1	0,1	4,9
		prozent. Abweichung												
Karlsruhe	A	12 Jahre	864	9917,5	1528,4	5648,6	684	12566,1	1787,2	5500,1	1080	16523,4	2149,4	6812,1
		Jahresmittel	72	826,5	127,4	470,7	57	1047,2	148,9	458,3	90	1377,0	179,1	567,7
		Tagesmittel		11,5	1,8	6,5		18,4	2,6	8,0		15,3	2,0	6,3
	B	12 Jahre	858	9723,7	1451,9	5622,8	700	12540,5	1857,3	5344,6	1089	16794,0	2023,0	7033,8
		Jahresmittel	71,5	810,3	121,0	468,6	58,3	1045,0	154,8	445,4	90,8	1399,5	168,6	586,2
		Tagesmittel		11,3	1,7	6,6		17,9	2,7	7,6		15,4	1,9	6,5
	C	absolute Abweichung		+193,8	+76,5	+25,8		+25,6	—70,1	+155,5		—270,6	+126,4	—221,7
		der 12 Jahressummen		2,0	5,3	0,5		0,2	3,8	2,9		1,6	6,2	3,2
		prozent. Abweichung												

* nur 11 Jahressummen

Auswertungsarten können aus drucktechnischen Gründen nur Musterbeispiele für einzelne Stationen bzw. Zeitspannen gegeben werden. Unter Verzicht auf eine vollständige Darstellung der agrarklimatologischen Verhältnisse in den Ländern der EWG, die den Rahmen dieser vorwiegend methodischen Betrachtungen sprengen würde, werden die Grundzüge der phänologischen Agrarklimatologie dieses Raumes an Hand von Tabellen und Abbildungen beispielhaft skizziert, um dann in 4. und 5. Hinweise auf Anwendungs-, Ausbau- und Folgerungsmöglichkeiten für die phänologisch-agrarklimatologische Arbeitsmethode geben zu können. Der agrarklimatologische Vergleich ist daher hier mehr im Zahlenwert und Bild als im Wort zu suchen.

3.1. Vergleich von Klimadaten für phänologische und kalendariche Zeitabschnitte

Wohl der entscheidendste Unterschied der phänologisch-klimatologischen zur herkömmlichen klimatologischen Datenverarbeitung ist darin zu sehen, daß die Aufbereitungseinheiten durch veränderliche pflanzliche Entwicklungsstadien und nicht durch feste Kalenderdaten begrenzt werden.

3.1.1. Phänologische Phasen und Zeitspannen in ihrer Beziehung zum Kalenderjahr

Die zeitliche Veränderlichkeit der in dieser Untersuchung verwendeten phänologischen Phasen innerhalb des Kalenderjahres soll für die ausgewählten Orte durch die Abbildung 3 veranschaulicht werden. Die phänologischen Zeitspannen a bis d bzw. die sie abgrenzenden phänologischen Phasen und zusätzlich die Apfelblüte als fünfte Phase sind im Kalenderdiagramm dargestellt. Durch eine gedachte senkrechte Verbindungslinie zu den auf dem oberen und unteren Darstellungsrand eingezeichneten Kalenderdaten kann für jede innerhalb der waagerechten Stations- bzw. Jahreszeilen als stärkere senkrechte Striche (bzw. für die Apfelblüte Dreiecke) dargestellte Phase das Datum ihres Beginns abgeschätzt werden. Dabei handelt es sich im oberen Teil der Darstellung um die langjährigen Mittelwerte aller Stationen, im unteren Teil um die phänologischen Phasen und Zeitspannen der einzelnen Vegetationsjahre von 4 deutschen Stationen.

Der Teil A bildet im ganzen gesehen einen Nord-Süd-Schnitt, innerhalb dessen die einzelnen Gruppen Ost-West-Schnitte, oder gewissermaßen von oben nach unten gesehen, eine Zunahme der Kontinentalität zeigen. Leicht festzustellen ist die Abnahme der winterlichen Ruhezeit (d) und dementsprechend die Zunahme der ackerbaulich nutzbaren Zeit (a-d) vom Norden zum Süden. Mit nur wenigen Ausnahmen (besonders im Herbst) ist innerhalb der Gruppen eine Zunahme der Ruhezeit und eine Abnahme der Vegetationszeit vom Westen zum Osten zu sehen. Während um Bergen erst Mitte Mai das Sommergetreide und schon Anfang September das Wintergetreide gesät wird, liegen die entsprechenden Termine um Bari, dem südlichsten hier dargestellten Ort, bei Mitte Februar und Mitte November. Eine 3½ Monate dauernde Vegetationszeit im Norden steht einer 9 Monate währenden im Süden gegenüber. Durch diese Darstellung wird es offensichtlich, daß klimatologische Mittelwerte desselben Monats oder auch derselben Monatsgruppen, wie sie in den meisten der zitierten Arbeiten zur klimatologischen Charakterisierung der Agrarbedingungen für einen so großen und klimatologisch differenzierten Raum wie Europa immer wieder herangezogen wurden, den wahren Bedingungen nicht entsprechen können. Dabei spiegelt sich in dieser Abbildung mit Ausnahme von Le Puy, wo Abweichungen zu den anderen Orten der Gruppe erkennbar sind, der Gebirgseinfluß kaum wider.

Interessant und gewiß in mancher Hinsicht aufschlußreich ist es, die einzelnen Zeitspannen für sich zu betrachten. Die Zeit zwischen Sommergetreide-Aussaat und Winterweizen-Ährenschieben (a) bleibt, abgesehen von den Orten nördlich 54° geographischer Breite, wo sie örtlich kürzer als 1½ Monate ist, im Nord-Süd-Schnitt ziemlich gleich lang. Dagegen zeigt sich deutlich eine Verkürzung dieser Zeitspanne von West nach Ost. Die Zeitspanne zwischen dem Ährenschieben und der Ernte des Winterweizens (b) nimmt vom Norden zum Süden allmählich ab (von über 2 auf unter 1½ Monate). Die Abnahme von West nach Ost ist weit geringer als in dem vorhergehenden Entwicklungsabschnitt, aber noch erkennbar. Die Zeitspannen a und b zusammengenommen zeigen im Nord-Süd-Schnitt nur Schwankungen unter 1 Monat, in den West-Ost-Schnitten dagegen bis zu 1½ Monaten. Die Zeit zwischen der Ernte und der Aussaat des Winterweizens (c), die in Skandinavien nur wenige Tage dauert, nimmt gegen Südeuropa bis auf über fünf Monate zu. Dies ist eine Tatsache, die für die Agrarplanung bedeutungsvoll ist, so daß auf sie noch öfters eingegangen wird.

Zur Untersuchung der Frosthäufigkeiten wurden die Frühjahrs- und Herbstzeitspannen (a und c), während denen die Vegetation besonders frostempfindlich ist, jeweils in 3 gleich lange Teile untergliedert. Diese einzelnen Drittel werden durch etwas schwächere senkrechte Linien abgegrenzt. Die Apfelblüte als Phase eines Obstgehölzes ist mit den Getreidephasen nicht direkt vergleichbar und wurde daher auch durch eine abweichende Signatur gekennzeichnet. Diese Phase, die im Hinblick auf die Frostgefährdung des Obstbaus im Frühjahr in die Untersuchung einbezogen wurde, beginnt meistens im 2. Drittel der Zeitspanne a. Bei den beiden norwegischen Orten liegt sie im 1. Drittel und wandert zum Süden zu gegen das Ende des 2. Drittels. Die unterschiedliche Veränderungstendenz der Apfel- und Getreidephasen ist offensichtlich ein Ausdruck dafür, daß z. B. Obstgehölze andere Umwelt- und damit auch Klimabedingungen beanspruchen als das Getreide.

Die langjährigen mittleren phänologischen Phasen und Zeitspannen im Teil A haben ihren besonderen Wert für Planungen. Mit den phänologischen Verhältnissen der zeitlich mehr oder weniger unterschiedlichen Vegetationsabläufe der Einzeljahre hat sich vor allem der einzelne Landwirt auseinanderzusetzen, wenn auch der landwirtschaftliche Planer die Veränderlichkeit der Einzeljahre (Häufigkeit von extremen Klima- bzw. Vegetationsabläufen) z. B. in die Rentabilitätsbetrachtungen mit einbeziehen muß.

Da phänologische Daten der Einzeljahre für die außerdeutschen Orte kaum veröffentlicht sind, soll der unterschiedliche Vegetationsablauf von Jahr zu Jahr im Teil B am Beispiel der phänologischen Gebietsmittel von den vier deutschen Orten für den ganzen Auswertungszeitraum veranschaulicht werden. Die Einzeljahre, die am linken Skalenrand abzulesen sind, wurden nach dem Eintrittsdatum der Winterweizen-Ernte angeordnet (oben Jahre mit spätem, unten mit frühem Erntetermin). Die senkrechten gestrichelten Linien stellen den jeweiligen mittleren Phasenbeginn dieser Periode dar, brauchen also nicht mit dem für die betreffenden Orte im Teil A eingezeichneten langjährigen mittleren Phasenbeginn übereinzustimmen. Diese Mittellinien erlauben eine leichte Abschätzung der zeitlichen Veränderlichkeit des Phaseneintritts in den Einzeljahren. Geringe Abweichungen vom Mittelwert mit höchstens 10 Tagen zeigen Winterweizen-Aussaat und -Ährenschieben. Sehr unterschiedlich ist in den einzelnen Jahren der Beginn der Hafer-Aussaat und der Winterweizen-Ernte (größte Abweichungen vom Mittel um 15 Tage). In Jahren mit späten Ernteterminen hatte

meistens schon das Ährenschieben und mit allerdings vielen Ausnahmen auch die Hafer-Aussaat spät begonnen. Für die meisten Jahre mit später Ernte folgt auch die Winterweizen-Aussaat verhältnismäßig spät. Die entgegengesetzten Beziehungen sind für die Jahre mit früher Ernte im unteren Teil einer jeden Station wahrzunehmen.

3.1.2. Gegenüberstellung von Klimasummen nach phänologischen und kalendarischen Zeitabschnitten

Am Beispiel von 20 französischen und 4 deutschen Stationen wurden in Abbildung 4 die mittleren Klimasummen für Vegetationsabschnitte (a, b, c, d) den mittleren Klimasummen gegenübergestellt, wie sie sich aus der Abgrenzung nach Kalendermonaten ergeben. Diese vergleichende Darstellung soll den unterschiedlichen Aussagewert der beiden Datenaufbereitungsmethoden für großräumige agrarklimatologische Betrachtungen demonstrieren.

Der jeweils für alle Stationen einheitliche Kalenderabschnitt wurde so gewählt, daß er sich nur aus vollen Kalendermonaten zusammensetzt, aber gleichzeitig dem Mittel aller Stationen bezüglich Eintritts- und Endzeiten bzw. Andauer der entsprechenden phänologischen Zeitspanne am besten angepaßt ist. Dem phänologischen Zeitabschnitt von der Sommergetreide-Aussaat bis zum Winterweizen-Ährenschieben (a) wurden die drei Frühjahrsmonate März, April und Mai, dem kürzeren Wachstumsabschnitt vom Winterweizen-Ährenschieben bis zur Ernte (b) nur die beiden Monate Juni und Juli, der Zeit von der Winterweizen-Ernte bis zur Aussaat (c) wieder drei Monate (August, September, Oktober) und schließlich der Zeit von der Winterweizen- bis zur Sommergetreide-Aussaat (d) vier Monate (November, Dezember, Januar, Februar) gegenübergestellt. Auf jeder der vier Teilabbildungen ist unten für die einzelnen Stationen entsprechend der am linken Blattrand angegebenen Datumsskala die Dauer des Vegetationsabschnitts durch eine helle Säule und der für alle Stationen einheitliche Kalenderabschnitt durch schwarze Säulen gekennzeichnet. Weiterhin sind über jeder Station Säulen der mittleren Temperatur-, Sonnenschein- und Niederschlagssummen für phänologische Zeitspannen (helle Säulen) und unmittelbar daneben für den entsprechenden nach Kalendermonaten berechneten Jahresabschnitt (schwarze Säulen) aufgetragen.

Die unteren Teile der Abbildung 4 zeigen noch deutlicher als die Abbildung 3, daß die mittleren phänologischen Zeitspannen der einzelnen Stationen, besonders im Vergleich zu den festen monatlichen Abgrenzungen, in ihren Eintritts- und Enddaten und damit auch in ihrer Dauer stark variieren. Innerhalb des Vegetationsjahres verschiebt sich mit regionalen Differenzierungen der zeitliche Ablauf der Wachstumsabschnitte sowohl der einzelnen Stationen zueinander wie auch im Verhältnis zu den festgelegten kalendarischen Abschnitten. Das zeigt, wie wenig ein fester Kalenderabschnitt in einem größeren Raum gleiche Stadien der Vegetationsentwicklung erfassen kann. Daher reicht die herkömmliche Methode, die zwar für allgemein-klimatologische Betrachtungen von Bedeutung ist, meistens nur zur Beantwortung regional eng begrenzter agrarklimatologischer Fragen aus. Zur agrarklimatologischen Charakterisierung von großen Landschaftsräumen muß jedoch auch in der Abgrenzung der zu vergleichenden Zeiteinheiten dem örtlich sehr unterschiedlichen Ablauf des Vegetationsjahres entsprochen und die phänologisch-klimatologische Methode bevorzugt werden.

Um dies zu veranschaulichen, sei z.B. hinsichtlich der klimatischen Gegebenheiten für den Getreideanbau in Nord- und Südfrankreich die Vegetationszeit des Winterweizens vom Ährenschieben bis zur Ernte (b) mit dem festen Zeitabschnitt Juni/Juli verglichen. Dabei ist festzustellen, daß bei den nordfranzösischen Stationen (z. B. Lille, Paris, Cherbourg, Brest, Nantes und Le Mans) im Mittel das Ährenschieben erst Anfang Juni beobachtet und in Südfrankreich (siehe Perpignan, Montpellier, Toulon und Nizza) im Mittel bereits Mitte Juni geerntet wird. Während dieser Wachstumsabschnitt im Norden noch einigermaßen gut durch den Kalenderabschnitt Juni/Juli erfaßt wird, liegt die gleiche Pflanzenentwicklung im Süden des Landes zum größten Teil vor ihm. In Südfrankreich ergeben sich dementsprechend für die kalendarische Zeitspanne größere mittlere Temperatur- und Sonnenschein- und geringere Niederschlagssummen als für die phänologische Zeitspanne. Dagegen zeigt ein Vergleich der hellen Säulen, daß die mittleren Summen der drei Klimaelemente für die phänologische Zeitspanne in Nord- und Südfrankreich recht ähnlich sind. Nur die Niederschlagssummen dieses Wachstumsabschnitts sind bei den südfranzösischen Stationen um ca. 40 mm (etwa 40%) niedriger als bei den nordfranzösischen. Der Winterweizen, der ein Zuviel oder Zuwenig des einen oder anderen Klimafaktors durch Veränderung der Wachstumszeiten oder durch unterschiedliche Produktion der Kornsubstanz weitgehend ausgleicht, erhält in diesem Entwicklungsabschnitt an verschiedenen Standorten im Norden und Süden Frankreichs abgesehen vom Niederschlag ein annähernd gleiches Maß der einzelnen Klimaelemente.

Für die Zeitspanne zwischen Ernte und der nächsten Aussaat des Winterweizens (c), die einer Restzeit, nicht aber (wie bei b) einem pflanzlichen Wachstumsabschnitt entspricht, ist dagegen auffallend, daß die Summen aller drei Klimaelemente und die Dauer der Zeitspanne sehr stark schwanken.

3.2. Klimadaten für phänologische Zeitspannen

Im Folgenden werden die für phänologische Zeitspannen und ausgewählte europäische Stationen berechneten Summen, Mittel oder Häufigkeitsverteilungen der Klimaelemente, Klimaelements-Beziehungen und Klima-Erscheinungen sowie der Zeitspannendauer vergleichbar dargestellt.

3.2.1. Klimasummen, -mittel und mittlere Dauer phänologischer Zeitspannen

In den folgenden beiden Unterabschnitten werden in Karten für Frankreich und in einer graphischen Darstellung für alle Auswahlstationen phänologisch-klimatologische Summen- und Mittelwerte vorgelegt, grundsätzliche regionale Änderungstendenzen skizziert und Anwendungsmöglichkeiten dieser Datenaufbereitung angedeutet. Die regionale Veränderlichkeit der phänologisch-klimatologischen Werte und der Werte der Zeitspannendauer, als auch deren gegenseitige Beeinflussung und deren geographische Bedingtheit sollen an anderer Stelle eingehender untersucht werden.

3.2.1.1. Frankreich-Karten der Klimasummen, -mittel und mittleren Dauer phänologischer Zeitspannen

Für die phänologischen Zeitspannen a, b, c, d wurden mittlere Summenwerte der 3 Klimaelemente, Dauer und Tagesmittel der 3 Klimaelemente an den ausgewählten französischen Stationen in 4 Kartenserien mit jeweils 7 Einzelkarten eingetragen. Auf Grund dieser Stationswerte wurde der Versuch einer ersten Auswertung unternommen, indem Linien gleicher Klimaelementssummen und -mittel sowie gleicher Andauerzeiten für phänologische Zeitspannen gezeichnet wurden.

Bei den Niederschlagskarten wurden keine Isolinien eingezeichnet, da sich die Niederschlagsverhältnisse von Jahr zu Jahr und von Station zu Station zu stark ändern und daher für eine flächenhafte Auswertung die 14jährige Periode keinesfalls als ausreichend angesehen werden kann. Auf den Niederschlagskarten wurde nur dort eine flächenhafte Schraffur angelegt, wo infolge der topographischen Verhältnisse eine weitgehende Ähnlichkeit der Niederschlagsverteilung angenommen werden konnte. Die Karten wurden jedoch nur dort ausgezeichnet, wo die phänologisch-klimatologischen Verhältnisse einigermaßen durch Werte belegt schienen oder sich unter Berücksichtigung der Orographie und deren abzuschätzenden Auswirkungen auf das Klima und den Vegetationsablauf extrapolieren ließen. Daher wurde die Schraffur nicht immer bis an die Landesgrenze oder darüber hinausgeführt und auf mehreren Karten die Gebirgsgegend des französischen Zentralmassivs ausgespart. Erst wenn auch von den Frankreich benachbarten Staaten genügend entsprechende Werte vorliegen und das französische Stationsnetz wenigstens teilweise verdichtet und eine längere Periode aufbereitet ist, wird man mit größerer Sicherheit derartige phänologisch-klimatologische Grundlagenkarten zeichnen können. Es muß ausdrücklich betont werden, daß es sich hierbei um den Versuch großräumiger phänologisch-klimatologischer Karten und somit auch nur um eine vorläufige Darstellung handelt. Die 28 Einzelkarten können zunächst nur einen groben Überblick über die Tendenzen der regionalen Änderungen von Klimaelementen und Andauerzeiten für die ausgewählten Wachstumsabschnitte des Getreides im Raum Frankreich geben und zeigen, welche Anwendungsmöglichkeiten sich daraus ergeben.

Aus drucktechnischen Gründen wird hier als Beispiel nur die Kartenserie der Zeitspanne a, Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben, die hauptsächlich die vegetative Phase der Getreideentwicklung betrifft, abgedruckt. Betrachten wir zunächst die Klimasummenkarten und die Andauerkarten (Abb. 5 I-IV). Auffallend ähnlich ist auf diesen 4 Karten der nord-südliche Verlauf der Isolinien. Durch sehr niedrige Werte (dichte Schraffur) zeichnen sich die Gebirgsgegenden, vor allem das französische Zentralmassiv, ab. Diese Haupttendenzen kann man trotz der nur engbegrenzten Schraffurflächen auch auf der Niederschlagssummenkarte erkennen. Allerdings fallen hier neben den Gebirgen auch das Pariser Becken und die durch die Stationen Münster und Perpignan erfaßten Gebiete in die Gruppe mit den tiefsten Niederschlagssummen. Die Grundtendenz wähend dieser Entwicklungszeit des Getreides ist also sowohl eine Abnahme der Summen der 3 Klimaelemente als auch der Andauerzeit von West nach Ost sowie eine Abnahme mit der Meereshöhe.

Da die unterschiedliche Andauer der phänologischen Zeitspannen in die Summenkarten der einzelnen Klimaelemente mit eingeht, wurden zur leichteren unmittelbaren Vergleichbarkeit der Werte Karten der Tagesmittel gezeichnet. Zu diesem Zweck wurden die mittleren Klimasummen durch die Andauer der Zeitspannen (in Tagen) dividiert. Auf den Karten der Tagesmittel der 3 Klimaelemente (Abb. 5 V-VII) ist diese Tendenz nicht mehr zu finden. Bezüglich der mittleren Tagesmitteltemperatur scheint sich sogar eine Zunahme von West nach Ost abzuzeichnen. Die höchsten Temperaturmittel wurden für Münster und Perpignan berechnet. Das Pariser Becken, die niederrheinische Bucht, der Oberrheintalgraben, das Becken südöstlich Dijon (Bresse) und der Küstenstreifen der Provence fallen in die Gruppe der Tagesmittel zwischen 11,5 und 12,0° C. Der übrige Raum mit Ausnahme von West- und Nordwestfrankreich und dem Rhonetal hat noch Mitteltemperaturen über 11° C. Bei der Karte der mittleren täglichen Sonnenscheindauer sind, wie bei allen Auswertungen der Sonnenscheinaufzeichnungen in dieser Untersuchung (siehe S. 14), gewisse Vorbehalte angebracht. So wird z.B. vermutet, daß die für Chateauroux, Toulouse und Straßburg berechneten Sonnenscheinwerte im klimatologischen Sinne nicht im vollen Maße repräsentativ für die Umgebung sind. Im Vegetationsabschnitt Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben ergaben sich für das Rhonetal, die Mittelmeerküste und sogar für die im oberen Loiretal im Zentralmassiv gelegene Station Le Puy die höchsten mittleren Sonnenscheinstunden. Die Stationen des nordwestfranzösischen und -deutschen Raumes mit Ausnahme der Küstengebiete haben in dieser Zeitspanne eine mittlere tägliche Sonnenscheindauer von etwa 6½ Stunden. Bei den Küstenstationen und bei den im Stau der französischen Mittelgebirge gelegenen Stationen mag der höhere Bewölkungsgrad für die nur um 6 Stunden liegenden Werte der Grund sein. Mittlere tägliche Niederschlagssummen von über 2 mm zeigen die westfranzösischen Küstenstationen und die in Gebirgen oder in Gebirgsnähe gelegenen Stationen. Für die Stationen der Ebenen wurden dagegen Mittelwerte von etwa 1,5 mm berechnet.

Die unterschiedliche Aussagekraft der Karten der Klimasummen einerseits und der Karten der Klimamittel andererseits soll für die Frühjahrszeitspanne durch einen Vergleich der Karte der mittleren Temperatursummen (Abb. 5 I) und der mittleren Tagesmitteltemperaturen (Abb. 5 V) veranschaulicht werden. Während z. B. im gesamten Bereich der französischen Westküste von Brest bis St. Jean de Luz ungefähr die gleichen mittleren Temperatursummen festgestellt wurden, nimmt die mittlere Tagesmitteltemperatur von Norden nach Süden von 10,1° C (Brest) bis 11,6° C (St. Jean de Luz) zu (12,2° C in Biarritz als Mittel von nur 5 Jahren ist hier außer Betracht zu lassen). Das heißt, die gleiche in diesem Vegetationsabschnitt zur Verfügung stehende Temperatursumme ist im Norden über eine größere Zahl von Tagen verteilt als im Süden. Dies ist auch aus den entsprechenden Werten der Andauerkarte (Abb. 5 IV) zu ersehen. Es ist anzunehmen, daß die Wirkung einer gleichgroßen Temperatursumme auf die Pflanzenentwicklung verschieden ist. Im allgemeinen ist nach den bisherigen Erfahrungen der Nutzeffekt bei durchschnittlich höheren Temperaturen in kürzerer Zeit nicht so groß wie bei durchschnittlich niedrigeren Temperaturen in längerer Zeit (84). Die Temperatursumme gilt hier als ein gewisses Vergleichsmaß für die zur Verfügung stehende Wärmeenergie.

Kurz seien die Grundtendenzen, die sich aus den nicht in diese Veröffentlichung mit aufgenommenen Kartenserien ablesen lassen, erwähnt. Für den Wachstumsabschnitt vom Ährenschieben bis zur Ernte des Winterweizens läßt sich bei einem Vergleich der 7 Einzelkarten keine einheitliche Tendenz, sondern nur andeutungsweise auf den Karten der täglichen Temperatur- und Sonnenscheindauermittel sowie in z. T. abgeschwächter Form auf den Karten der Dauer- und Temperatursumme ein südwest-nordöstlicher Verlauf der Isolinien erkennen. Mit Ausnahme des Zentralmassivs, wo die Verhältnisse noch unklar sind, liegen die niedrigsten Tagesmittelwerte von Temperatur und Sonnenscheindauer im Norden und Nordwesten, die höchsten Werte im Südosten. Die Dauer dieser Zeitspanne und die Temperatursummen nehmen dagegen vom Nordwesten nach Südosten ab. Dies besagt, daß z. B. im nordwestfranzösischen Küstengebiet dieser Wachstumsabschnitt bei mittleren Tagestemperaturen unter 16° C und täglichen Sonnenscheinstunden von weniger als 7 Stunden langsam (60 Tage), im Gebiet der französi-

schen Mittelmeerküste dagegen bei höheren Temperaturen (etwa 18—19° C) und bis zu 10,2 Sonnenscheinstunden sehr schnell abläuft (46 Tage). Dabei sind an der Mittelmeerküste die mittleren täglichen Niederschläge sehr niedrig (< 1,5 mm). Aber auch in Nordwestfrankreich liegen sie mit Werten zwischen 1,5 und 2,0 mm noch unter dem Durchschnitt. Die auch während anderer Zeitspannen für die Stationen der Biscaya-Küste berechneten sehr hohen Niederschlagswerte sind eine Folge des Küsten- und Gebirgseinflusses und daher nicht repräsentativ für die weitere Umgebung, keinesfalls aber für das Gebiet des Landes. Hervorzuheben wären für diesen Wachstumsabschnitt, in dem vornehmlich die Substanz der Körner gebildet wird, die verhältnismäßig hohen mittleren Tagesmitteltemperaturen (um 18° C) im Pariser, Loire- und Garonne-Bekken bei mittleren täglichen Niederschlagsmengen (um 2 mm).

Für die künftigen Planungen und für die Erschließung von Landnutzungsreserven sehr bedeutungsvoll ist die Zeitspanne zwischen der Winterweizen-Ernte und der -Aussaat für das nächste Vegetationsjahr. Sieht man von orographisch bedingten Linienausbuchtungen über dem französischen Mittelgebirge ab, so ist mit Ausnahme der Niederschlagskarten ein von West nach Ost gerichteter Verlauf der Isolinien zu erkennen, und zwar eine Zunahme sowohl der Temperatur- und Sonnenscheinsummen als auch der -mittel und der Andauerzeit von Norden nach Süden. Obwohl das untere Rhonetal infolge der langen Andauer dieser Zeitspanne sehr hohe Niederschlagssummen aufweist, sind die mittleren Tagessummen des südfranzösischen Mittelmeer-Küstenstreifens (2 mm und weniger) so gering, daß sie in die dichteste Schraffurstufe fallen. Will man diese z. B. in Südfrankreich über ein Vierteljahr andauernde Zeitspanne durch ein- oder mehrmaligen Anbau von Zwischenfrüchten oder Sonderkulturen landwirtschaftlich stärker ausschöpfen, so gilt es durch geeignete Sortenwahl und -züchtung sowie durch dem Klima angepaßte Saattermine und künstliche Bewässerung die extremen Klimabedingungen (hohes Angebot an Wärme und Sonnenschein, Niederschlagsmangel und somit sehr hohes Verdunstungsdefizit) zu berücksichtigen.

Der lange winterliche Zeitabschnitt von der Winterweizen-Aussaat bis zur Sommergetreide-Aussaat, der von Südwest nach Nordost eine Zunahme der Dauer zeigt, hat hinsichtlich der Summen und Mittel von Klimaelementen für die Planung weniger Bedeutung.

Das französische Zentralmassiv, für das die in 714 m Höhe im oberen Loire-Tal gelegene Station Le Puy als Beispiel ausgewählt wurde, zeichnet sich mit Ausnahme der Niederschlagskarten auf allen Einzelkarten der ackerbaulich nutzbaren Zeit durch verhältnismäßig niedrige, auf den Karten des winterlichen Zeitabschnittes durch hohe Werte aus. In den Summenkarten drückt sich die im Gebirge im allgemeinen kürzere Dauer der Vegetationszeit und die weitaus längere Zeit der Winterruhe aus.

In der Tabelle 3 sind der durchschnittliche Verlauf der Isolinien und die Änderungstendenzen der soeben besprochenen Karten schematisch dargestellt. Diese den Frankreichkarten entnommenen Änderungstendenzen der Andauerzeiten stimmen gut mit den in der Abbildung 3 für alle europäischen Orte zu verfolgenden überein.

Tab. 3
Schematische Übersicht des Verlaufs der Isolinien und die Änderungstendenzen in phänologisch-klimatologischen Karten von Frankreich

Zeitspanne	Durchschnittlicher Verlauf der Isolinien	Änderungstendenzen		
		Temperatur und Sonnenscheindauer		Andauerzeiten
		Summen	Mittel	
a	N — S	W < —— E	W ——> E	W <—— E
b	NE — SW	NW — SE	NW — SE	NW — SE
c	W —— E	N — S	N — S	N — S
d	NW — SE	nicht eindeutig	nicht eindeutig	NO — SW

——> = Richtung der Zunahme

3.2.1.2. Graphische Darstellungen von Klimasummen phänologischer Zeitspannen

Temperatur-, Sonnenscheindauer- und Niederschlagssummen wurden für die Zeit von der Sommergetreide-Aussaat bis zum Winterweizen-Ährenschieben, vom Ährenschieben bis zur Ernte und von der Ernte bis zur Aussaat sowie — diese 3 Zeitspannen zusammenbetrachtet — zugleich für die ackerbaulich nutzbare Zeit berechnet. In der Abbildung 6 wurden die Ergebnisse vergleichbar dargestellt; im linken Teil für 48 europäische Stationen nach den langjährigen mittleren phänologischen Daten (A), rechts als Beispiel der Veränderlichkeit in den einzelnen Vegetationsjahren für Karlsruhe nach den phänologischen Daten der Einzeljahre (B). Die Daten der winterlichen Zeitspanne d wurden — obwohl berechnet — in diese Abbildung nicht mit aufgenommen, da sie für die Landwirtschaft nur eine relativ geringe Bedeutung haben.

Auffallend einheitlich sind, wie bereits aus der Abbildung 4 a und b zu ersehen war, die Temperatursummen sowohl für die Zeit von der Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben als auch für die Zeit vom Ährenschieben bis zur Ernte des Winterweizens, und zwar in den Einzeljahren von Karlsruhe wie auch im Mittel für die übrigen Stationen. Abgesehen von je 2 unbedeutenden Abweichungen liegen alle für die Gesamtzeit von der Sommergetreide-Aussaat bis zur Winterweizen-Ernte ermittelten Temperatur-Summen zwischen 1500° und 2000° C, in den Einzeljahren in Karlsruhe sogar zwischen 1750° u. 2000° C. Bei den nördlicheren Stationen, bis etwa 48° Breite, stellt im Durchschnitt die Zeit nach dem Ährenschieben den größeren Summenanteil, südlich davon wird vor dem Ährenschieben eine größere Summe erreicht. In der Zeitspanne zwischen Winterweizen-Ernte und -Aussaat ergaben sich, wie aus der unterschiedlichen Dauer und Lage im Hinblick auf den klimatologischen Jahresablauf zu erwarten war, für alle Elemente die größten Veränderlichkeiten; z. B. nur wenige Grad in Oslo und fast 3500° C in Bari (Obs). Abgesehen von Bergen und Oslo, wo bis zur Ernte nur Sonnenscheindauersummen von 475 und 665 Stunden berechnet wurden, liegen fast alle übrigen Werte zwischen 750 und 1000 Stunden. Vergleicht man die Veränderlichkeit der Säulenhöhe a + b bei den drei Klimaelementen, so ist sie verständlicherweise beim Niederschlag am größten. Für die Einzeljahre von Karlsruhe ergaben sich für die Zeitspannen a + b zwischen 160 und 340 mm liegende Niederschlagssummen. Bei einem Vergleich der Säulen a + b innerhalb der 2-Grad-Gruppen läßt sich die bereits bei den Frankreichkarten (Abb. 5 I - IV) verfolgte Abnahme von Westen nach Osten wohl bei der Temperatur, aber kaum bei der Sonnenscheindauer erkennen. Zwischen 42° und 44° Breite zeichnet sich eine nahezu gegenläufige Tendenz dieser beiden Elemente ab.

3.2.2. Häufigkeit täglicher Temperaturdaten

Für die Landwirtschaft von Bedeutung sind nicht nur Summen und Mittel der Klimaelemente, sondern auch die Häufigkeitsverteilung der Einzelwerte. An verschiedenen Stationen, sogar in verschiedenen Ländern und Erdteilen wurde z. B. der Zusammenhang zwischen bestimmten Grenztemperaturen und den Eintrittszeiten phänologischer Phasen untersucht. Für jede Phase lassen sich mittlere Grenztemperaturen berechnen, die von Jahr zu Jahr und von Ort zu Ort mehr oder weniger großen Schwankungen unterliegen. So wird in Ermangelung geeigneter phänologischer Phasen vielfach das durchschnittliche Über- bzw. Unterschreiten des 5°C-Tagesmittels oder ähnlicher Schwellenwerte der Lufttemperatur als Zeitmarke für den Beginn bzw. das Ende der Vegetationszeit benutzt. — Die Berechnung mittlerer Grenztemperaturen für phänologische Phasen und die Untersuchung ihrer regionalen und zeitlichen Veränderlichkeit wurde, da sie für eine spätere in anderem Zusammenhang stehende Arbeit vorgesehen ist, hier nicht durchgeführt. — Schnelle (90) weist jedoch darauf hin, „daß das Erreichen dieser Grenztemperaturen nicht das Entscheidende für die Phasenentwicklung ist. Entscheidend für das Wachstum ist vielmehr erstens das Erreichen einer Mindesttemperatur, um den Eintritt einer Phase überhaupt auszulösen, und zweitens die Andauer der Mindesttemperatur". Diese Mindesttemperaturen, die sicherlich tiefer als die Grenztemperaturen liegen, und die mittleren und extremen Zeiten ihrer für einzelne Wachstumsphasen unserer Kulturpflanzen notwendigen Dauer, gilt es zu ermitteln. U. a. ist in der Häufigkeitsverteilung täglicher Temperaturdaten für phänologische Zeitspannen eine Möglichkeit zu sehen, diesem Ziel näher zu kommen.

Da die manuelle Auszählung von Tagesdaten der Temperaturextreme und -mittel sehr arbeitsaufwendig ist, wurde sie nur für 6 Stationen durchgeführt, und zwar nach langjährigen mittleren phänologischen Eintrittsterminen (A) für die 4 deutschen Stationen, für Lille und Montpellier und nach phänologischen Daten der Einzeljahre (B) für Münster und Karlsruhe. In die Darstellungen wurden jedoch die für Hamburg und Aachen aufbereiteten Werte nicht mit aufgenommen, da sie denen von Münster und Lille sehr ähnlich sind. Die Temperaturen wurden jeweils für 1°C-Stufen (also z. B. von 10,0° bis 10,9° C, von 11,0° bis 11,9° C oder bei negativen Temperaturen entsprechend von —2,0° bis —2,9° C usw.) zusammengefaßt. Für die Zeitspannen a 1, a 2, b, c und d wurde die Anzahl der Tage in einer jeden 1°C-Stufe ermittelt. Danach konnte die relative Häufigkeit der auf die einzelnen Stufen entfallenden Tage für die phänologischen Zeitspannen berechnet und — abgesehen von den Temperaturmitteln, auf deren Wiedergabe hier verzichtet wurde, — in der Abbildung 7 dargestellt werden.

Auf der Abbildung 7 I sind in den rechten Kurvenscharen die relativen Häufigkeiten der Temperaturmaxima und in den linken die der -minima wiedergegeben. Aus ihnen kann für eine jede Temperaturstufe der prozentuale Anteil der Tage abgelesen werden. Es läßt sich z. B. entnehmen, daß in Montpellier in der Zeit zwischen Apfelblüte und Winterweizen-Ährenschieben (a 2) die Tage mit Temperaturmaxima von 16,0° bis 16,9° C über 16% aller Tage ausmachen. Für keine andere Temperaturstufe, für keine der hier ausgewerteten Stationen und für keine der aufbereiteten Zeitspannen wurde ein so hoher prozentualer Anteil berechnet.

Die Prozente der einzelnen Temperaturstufen wurden weiterhin, mit den höchsten Temperaturen beginnend, von Stufe zu Stufe bis zu den niedrigsten Temperaturen aufaddiert. Das Ergebnis dieser Berechnung sind die Summenprozentkurven der Abbildung 7 II. Sie lassen sich für sehr verschiedene landwirtschaftliche Fragen verwenden. Im Zusammenhang mit dem Frostschutz sind auf Grund dieser Kurven leicht die Temperaturhäufigkeiten unter bzw. über bestimmten Schwellenwerten festzustellen. Z. B. ist abzulesen, daß für die Zeitspanne Sommergetreide-Aussaat bis Apfelblüte (a 1) Minima unter 0° C in Montpellier und Karlsruhe an etwa 15% der Tage, dagegen in Lille und Münster nur an weniger als 10% aller Tage registriert wurden. Das deutet eine größere Frostgefahr der frühen Pflanzenentwicklungen in Montpellier und Karlsruhe an.

Wie für 0° C läßt sich aus dieser Abbildung für jede beliebige, für die Landwirtschaft bedeutungsvolle Temperaturgrenze die Häufigkeit der unter- und oberhalb der Schwelle auftretenden Tagestemperaturen ablesen.

Es sei hier noch die Temperaturschwelle von 5° C betrachtet, sie wird vielfach als unterer Grenzwert des möglichen Pflanzenwachstums angesehen, da erfahrungsgemäß die Pflanzen erst oberhalb der 5°C-Grenze, anspruchsvollere Pflanzen erst beim Überschreiten der 10° C-Grenze eine stärkere Lebenstätigkeit entfalten (89). In der Zeit zwischen Sommergetreide-Aussaat bis Apfelblüte (a 1) lag das tägliche Maximum bei allen 4 Stationen nur in höchstens 2%, das Mittel bei allen Stationen in 8%, das Minimum in Montpellier in 45%, in Lille und Karlsruhe in 53% und in Münster in 61% aller Tage unter 5° C. Es scheint also ein Charakteristikum dieser Zeitspanne zu sein, daß die Tageshöchsttemperaturen, abgesehen von nur sehr wenigen Tagen, über diesen Schwellenwert fallen.

Welche Höhe die Maxima haben, mag, wie aus dem breiten Band der Kurvenschar zu vermuten ist, für die einzelnen Vegetationsabschnitte von sekundärer Bedeutung sein. Das Gros der Maxima, das hier zwischen den Grenzen von 20% und 80% betrachtet werden soll, liegt in der Zeitspanne

Sommergetreide-Aussaat bis Apfelblüte (a 1)
für Karlsruhe zwischen 12° und 21° C,
für Montpellier zwischen 13° und 18° C,
für Lille zwischen 11° und 17° C,
für Münster zwischen 10° und 18° C,

in der Zeitspanne

Apfelblüte bis Winterweizen-Ährenschieben (a 2)
für Karlsruhe zwischen 17° und 26° C,
für Montpellier zwischen 17° und 22° C,
für Lille zwischen 16° und 23° C,
für Münster zwischen 16° und 23° C.

Die Tageshöchsttemperaturen von Montpellier sind also, wie auch schon ein kurzer Vergleich der Höhenlage der 4 Kurven zueinander zeigt, in der früheren Zeitspanne verhältnismäßig hoch, in der späteren relativ niedrig.

Sehr auffallend ist die Ähnlichkeit des Verlaufs der Summenprozentkurven der Minima für die vor der Ernte liegenden Zeitspannen. Für alle Stationen liegt das Gros der Minima (20% bis 80%) in den Zeitspannen:

a 1 zwischen 1° bzw. 2° und 7° bzw. 9° C,
a 2 zwischen 5° bzw. 6° und 11° bzw. 12° C,
a zwischen 2° bzw. 3° und 10° C,
b zwischen 10° bzw. 11° und 15° bzw. 16° C.

Es wäre also statistisch zu untersuchen, ob die nächtlichen Tiefsttemperaturen mehr als andere tägliche Temperaturdaten das Pflanzenwachstum in diesen Zeitabschnitten bestimmen. Sollte dies der Fall sein und sollten damit Grenzwerte täglicher Minimumtemperaturen für bestimmte pflanzliche Entwicklungsabschnitte zu ermitteln sein, so ließen sich für die Klimastationen die extremen und mittleren frühesten Zeiten für derartige Wachstumsstadien errechnen.

Um einen Eindruck zu vermitteln, inwieweit die nach der Methode A und B berechneten Häufigkeiten von einander abweichen, wurden letztere bei den beiden deutschen Stationen durch schwächere Signaturen eingezeichnet; allerdings nur da, wo die Werte soweit von der Hauptkurve abweichen, daß sie sich gesondert darstellen lassen. Den besten Eindruck dieser Abweichungen vermögen die Summenprozentkurven zu vermitteln. In den Zeitspannen a 1, a 2, a und b liegen die Kurven der Einzeljahre tiefer, in der Zeitspanne c höher als die der langjährigen Mittel. Für die winterliche Zeitspanne ergaben sich die geringsten, kaum darzustellenden Abweichungen. Im allgemeinen sind auch hier wieder die Abstände der jeweiligen Kurvenpaare bei den Maxima am größten, bei den Minima am kleinsten. Für Münster und Karlsruhe zeigt dies, daß die Häufigkeiten der Temperaturen nahezu in allen Stufen während der vor der Winterweizen-Ernte liegenden Wachstumsabschnitte in den einzelnen Vegetationsjahren geringer waren als im langjährigen mittleren phänologischen Jahresablauf. Das diesbezüglich aufbereitete, noch nicht genügend umfangreiche Material läßt eine Verallgemeinerung dieser Feststellungen noch nicht zu, aber sehr interessante Fragen offen.

3.2.3 Niederschlagshäufigkeit

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt für die Temperatur gezeigt wurde, so ist auch beim Niederschlag nicht nur die Summe für landwirtschaftliche Erwägungen von Bedeutung, sondern neben dieser auch die Häufigkeit der Niederschläge. Nicht nur im Hinblick auf das Pflanzenwachstum, sondern außerdem für betriebswirtschaftliche Fragen ist eine Kenntnis der im Jahresablauf in den verschiedenen Landschaftsräumen recht wechselhaften Niederschlagsneigung von großem Nutzen, so z. B. zur Bestimmung der durchschnittlichen niederschlagsbedingten Verlustzeiten beim Arbeitskräfteeinsatz oder bei Rentabilitätsfragen im Zusammenhang mit Bewässerungsanlagen.

Die Niederschlagsneigung läßt sich auf sehr verschiedene Weisen charakterisieren. Methoden, die den Tagesgang und die Intensität der Niederschläge berücksichtigen, konnten hier aus Materialgründen nicht angewendet werden. Daher beziehen sich die folgenden Ausführungen nur auf die Auszählung von Tagen mit oder ohne Niederschlag und auf die täglichen Niederschlagssummen.

3.2.3.1. Häufigkeit der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage

In der Abbildung 8 wurde die relative Häufigkeit der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage für die phänologischen Zeitspannen a, b, c und d nach der Aufbereitungsmethode A für 43 europäische Stationen und nach der Methode B für Karlsruhe dargestellt. Während der Teil A ein verhältnismäßig einheitliches Bild der Niederschlagshäufigkeit vortäuscht, zeigt Teil B, wie stark die Verhältnisse in den Einzeljahren schwanken können. Dabei ist anzunehmen, daß mit Karlsruhe nicht einmal das extremste Bild in dieser Hinsicht erfaßt ist. Am Rande sei bemerkt, daß die Gebirgsstation Le Puy sich in allen Zeitspannen und auf beiden Teilen der Abbildung nicht sonderlich von den übrigen Stationen der Breitengruppe abhebt.

Die Abbildung 8 I zeigt die Niederschlagstage aufgeteilt in 4 verschiedene Stufen der Niederschlagssumme (0,1 — 0,9; 1,0 — 2,4; 2,5 — 9,9; ≧ 10,0 mm), Stufen, die nicht nur in der Klimatologie, sondern auch in der Agrarklimatologie Bedeutung erlangten. Bei einem ersten Überblick stellt man in den einzelnen Zeitspannen von Süd nach Nord und meistens auch von Ost nach West, also jeweils innerhalb der 2-Grad-Gruppen von links nach rechts, eine Zunahme der Niederschlagshäufigkeit fest. Die skandinavischen Stationen zwischen 54 und 60° Breite fallen in diesem Trend durch verhältnismäßig wenig Niederschlagstage auf. Weniger unterschiedlich scheinen die Niederschlagsverhältnisse zwischen 46 und 54° geographischer Breite zu sein. Die Säulen der in Küstennähe gelegenen und somit meist niederschlagsreicheren Stationen St. Jean de Luz, Angouléme, Brest, Vlissingen, Shannon und Bergen ragen aus der jeweiligen Gruppe heraus.

Auffallend für die Zeit vom Ährenschieben bis zur Ernte des Winterweizens (b) ist bei den zwischen 50 und 52° Nord sowie zwischen 6 und etwa 0° Ost gelegenen

Stationen die Abnahme der Niederschlagstage, besonders der Tage mit Niederschlagssummen von 2,5 bis 9,9 mm, von Ost nach West.

Die Tage mit Niederschlägen über 2,5 mm sind in dieser Zeitspanne, wenn also Starkniederschläge leicht zur Lagerung des Getreides führen können, in Karlsruhe in den einzelnen Vegetationsjahren relativ häufig (15% bis 45% und im Durchschnitt 27% aller Tage). Vergleicht man den Anteil der Tage mit Niederschlagssummen über 10 mm, so ist ersichtlich, daß sie in mittleren und nördlichen Breiten nur etwa $^1/_{10}$ und in den südeuropäischen Gebieten etwa $^1/_3$ der Niederschlagstage ausmachen.

Viele für die Landwirtschaft interessante Schlußfolgerungen lassen sich daran anknüpfen. Gleiche Niederschlagssummen zeigen natürlich in Abhängigkeit von der Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens, der Bodenbedeckung, der herrschenden Temperatur u. a. m. überall und zu allen Zeiten unterschiedlichen Auswirkungen, z. B. auf das Pflanzenwachstum und auf den Bodenzustand, von dem wiederum, wie auch von der Luftfeuchtigkeit, die Möglichkeit zum Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen abhängt. In der Zeitspanne zwischen der Ernte und der nächsten Aussaat des Winterweizens (c) — einer Zeit, in der das Niederschlagsdefizit infolge des im Sommer weitgehend aufgezehrten Bodenwasservorrats besonders schwer wiegt, — ist der Nutzen von hohen täglichen Niederschlagsmengen infolge des überwiegend oberflächlichen Abflusses für die Vegetationsdecke nur gering. Gerade in dieser kritischen Zeit hat die Stufe mit Niederschlägen über 10,0 mm in Südeuropa im Vergleich zu den anderen drei Stufen den größten Anteil. Die Tage mit Niederschlagssummen zwischen 1,0 und 2,4 mm, die für das Pflanzenwachstum wohl am willkommensten sind, da sie vom Boden bzw. der Pflanze weitgehend aufgenommen werden, den Boden genügend anfeuchten und andererseits weniger Schaden anrichten als starke Niederschläge, machen in dieser Herbstzeitspanne in den südlichsten Breiten weniger als 5% aller Tage aus. Bei Korrelationen zwischen Niederschlag und Ertrag ermittelte M ä d e (62) für die Zeit zwischen Blüte und Ernte des Winterroggens den höchsten Korrelationswert, als er die täglichen Niederschläge über 3 mm eliminierte. Sollte daraus zu folgern sein, daß bei größeren täglichen Niederschlagsmengen von dem 3 mm übersteigenden Betrag ein in Abhängigkeit von der Bodenart mehr oder weniger großer Teil oberflächlich abfließt und daher für den Ernteertrag weniger von Einfluß ist?

Aus der Abbildung 8 II ist die Häufigkeit verschieden langer Niederschlags- und Trockenperioden in phänologischen Zeitspannen abzulesen. Die Abgrenzung der vier Stufen unterschiedlicher Periodendauer entspricht dem Vorschlag von R e i d a t (74), der für 10 deutsche Stationen die mittlere Zahl derartig abgegrenzter Niederschlags- und Trockenperioden berechnete (1-3, 4-7, 8-14, $\geqq$ 15 aufeinanderfolgende Tage mit bzw. ohne Niederschlag). Die Grenze zwischen dem Anteil der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage wurde punktiert. Sie ist nicht als Grenzlinie aufzufassen, da weder Zeiten bis zu drei Tagen ohne, noch Zeiten bis zu drei Tagen mit Niederschlag als Trocken- bzw. Niederschlagsperioden anzusprechen sind, sondern Übergangsperioden darstellen. Perioden mit 15 und mehr aufeinanderfolgenden Niederschlagstagen bzw. niederschlagsfreien Tagen sind im allgemeinen als Naß- bzw. Dürreperioden anzusprechen; als Naßperioden besonders in der Winter- und Frühjahrszeitspanne, wenn im allgemeinen noch mit hohen Bodenfeuchten zu rechnen ist, und als Dürreperioden vornehmlich im Sommer, wenn die klimatische Wasserbilanz negativ und der Bodenwasservorrat meist gering oder gar erschöpft ist. Es bleibt dahingestellt, ob für Stationen in verschiedenen Klimagebieten einheitlich gewählte Periodenuntergrenzen den verschiedenen landwirtschaftlichen Sachverhalten voll entsprechen können (38). Sie haben jedoch den Vorteil der unmittelbaren Vergleichbarkeit. Die Einbeziehung der relativen Luftfeuchtigkeit ist besonders bei der Klassifizierung von Trockenperioden (17) im Hinblick auf landwirtschaftliche Fragen von größter Bedeutung, war jedoch hier wegen der in 2.3. dargelegten Gründe nicht möglich.

Eine große, jeglichen Pflanzenwuchs hemmende, wenn nicht gar vernichtende Bedeutung ist daher dem hohen Anteil der Dürreperioden in der Zeit zwischen Ernte und Aussaat beizumessen. In Italien gehören während dieser Zeitspanne bis 50% aller Tage zu Trockenperioden von 15 und mehr Tagen Dauer, während es in Irland niemals mehr als 14 aufeinanderfolgende niederschlagsfreie Tag gab. Erwähnt sei hier nur, daß das Risiko des Zwischenfrucht- und Sonderkulturanbaues — zumindest ohne Zusatzbewässerung — mit der Zunahme der Häufigkeit von so langen niederschlagsfreien Perioden wächst. Die Betrachtung der verschieden langen Trocken- und Niederschlagsperioden spielt vor allem, wie in 5. noch erläutert wird, bei betriebstechnischen Erwägungen (Einsatz der Arbeitskräfte, Maschineneinsatz) und Rentabilitätsfragen (Einrichtung von Beregnungsanlagen, Häufigkeit von Nässe- und Dürreschäden u. a. m.) eine große Rolle.

3.2.3.2. Häufigkeit der Tage mit Niederschlag um die Zeit der Winterweizen-Ernte

Die Niederschlagshäufigkeit im Hochsommer ist für verschiedene landwirtschaftliche Fragen, z. B. im Zusammenhang mit dem Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen bei der Ernte, der Art der Grummetwerbung, Möglichkeiten des Zweitfruchtanbaus u. a. m. von Interesse. Um für den EWG-Raum im Hinblick auf die Ernte zu zeitlich vergleichbaren Daten zu kommen, wurde der Beginn der Winterweizen-Ernte als Zeitmarke gewählt. Für die Zeit vom 1. bis 10. und 11. bis 20. Tag vor wie nach dem Beginn der Winterweizen-Ernte wurden die Tage mit Niederschlag $\geqq$ 1,0 bzw. $\geqq$ 2,5 mm ausgezählt, deren relative Häufigkeit berechnet und in der Tabelle 4 zusammengestellt. Die Tage mit Niederschlägen unter 1 mm sind in dieser Jahreszeit für arbeitstechnische Fragen nahezu bedeutungslos, da sie infolge der hohen täglichen Verdunstung den Boden oder das Erntegut nicht nachhaltig befeuchten. Sie blieben daher bei dieser Auswertung unberücksichtigt. Tage mit Niederschlagssummen von $\geqq$ 1,0 bzw. $\geqq$ 2,5 mm können wegen der daraus folgenden höheren Boden- und Luftfeuchte im allgemeinen schon zu erheblichen Unterbrechungen im Maschinen- und Arbeitskräfteeinsatz führen oder andererseits z. B. das Aufgehen der im Boden liegenden Zwischenfruchtsaaten entscheidend begünstigen.

Der Tabelle 4 sind die regionalen Unterschiede der relativen Häufigkeit der Niederschlagstage um die Erntezeit zu entnehmen. Bergen zeigt die Höchstwerte, und zwar 62% der Tage mit Niederschlagssummen $\geqq$ 1,0 mm und sogar noch 56% der Tage mit Niederschlagssummen $\geqq$ 2,5 mm. Dem stehen die niedrigsten relativen Häufigkeiten mit nur 5 bzw. 3% in Rom gegenüber. Für die einzelnen Stationen und für die 4 um die Winterweizen-Ernte liegenden Dekaden lassen sich z. B. aus derartigen Werten auch die Arbeitsverlustzeiten abschätzen.

Da nicht nur der Häufigkeitswert selbst, sondern auch die Zeitabschnitte mit relativ niedrigen oder hohen Niederschlagshäufigkeiten für die Landwirtschaft

Tab. 4

Häufigkeit der Tage mit Niederschlag ≧ 1,0 und ≧ 2,5 mm sowie mittlere Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz in 2 Dekaden vor und 2 Dekaden nach Beginn der Winterweizen-Ernte für 48 europäische Stationen.

Geogr. Breite	Stationen	Relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag (%) ≧ 1,0 mm				≧ 2,5 mm				Mittlere Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz (mm)			
		1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)
60°—62°	Bergen	49	45x	50	62*	36x	39	44	56*	+2,3x	+2,5	+3,2	+6,8*
58°—60°	Oslo	40*	34	32x	36	33*	26	24x	26	+0,9*	+0,4	—0,8x	+0,1
	Karlstad	36	28x	40*	29	30	21x	31*	21x	—0,1	—1,4x	+0,1*	—0,8
	Stockholm	31*	28x	30	28x	26*	17	18	16x	—0,9*	—1,5x	—1,3	—1,5x
56°—58°	Tylstrup	34	34	32x	41*	28*	27	21x	28*	—1,0x	—0,4*	—1,0x	—0,9
	Växjö	38*	37	35	32x	30*	24	28	21x	—0,6	—0,1*	—0,6	—1,1x
54°—56°	Kopenhagen	36	36	29x	37*	25	26*	21x	24	—1,5	—1,4	—1,7x	—0,7*
52°—54°	Shannon	46	49*	46	44x	34	30x	35*	34	—0,5x	—0,5x	+0,2*	0,0
	Dublin	45*	41x	45*	44	26x	28	32*	29	—0,5x	+0,3	+0,9*	+0,4
	Den Helder	33	41*	31x	34	23x	36*	28	24	—1,6x	—0,1*	—0,8	—0,7
	De Bilt	32x	34	48*	42	23	22x	37*	36	—1,3	—1,6x	+0,7*	—0,3
	Eelde	32x	44*	41	39	21x	33*	28	26	—1,7x	+0,3*	—1,1	+0,2
	Hamburg	39x	44*	40	43	26x	34*	26x	34*	—1,1	—0,5	—1,4x	+0,4*
50°—52°	London	26x	26x	35*	26x	18	16x	24*	18	—2,1	—2,3x	—0,4*	—1,9
	Lille	25x	34	39*	34	18x	23	24*	23	—1,9	—2,1x	—1,3*	—1,5
	Vlissingen	32x	34	42*	36	24	24	30*	19x	—1,2	—1,4	—0,8*	—1,8x
	Uccle	44	31x	37	45*	30	21x	26	32*	—0,4*	—1,9x	—1,1	—1,1
	Süd-Limburg	41	37x	37x	45*	30	24x	30	35*	—0,8	—1,7x	+0,2*	—0,4
	Aachen	34x	36	46*	41	27x	27x	33*	31	—1,5x	—0,7	—0,6	—0,4*
	Winterswijk	44*	36	35x	41	32*	29	26x	32*	—0,5*	—1,0x	—0,7	—0,5*
	Münster	50*	36x	36x	47	39*	27x	28	29	—0,5*	—1,4x	—1,0	—0,5*
48°—50°	Brest	29	27x	36*	31	16x	18	29*	24	—1,9x	—1,1	+0,3*	—0,2
	Cherbourg	19x	26	36*	31	13x	18	26*	21	—2,4x	—1,2	—0,4*	—1,3
	Paris	25	22x	26	38*	19	16x	21	24*	—2,1	—2,1	—2,5x	—1,7*
	Straßburg	40*	38	31x	37	29	30*	22x	28	—1,1	—1,2	—2,1x	—0,8*
	Karlsruhe	34	31x	34	36*	27*	22x	27*	26	—1,8	—2,3x	—1,6	—0,7*
46°—48°	Nantes	27	21x	21x	31*	19	16	11x	26*	—2,0	—2,5	—3,0x	—1,1*
	Le Mans	29	19x	30	34*	19	14x	22	23*	—2,1	—2,9x	—1,1*	—1,6
	Tours	25	28*	17x	27	15	19	13x	20*	—2,7	—1,8	—3,0x	—1,7*
	Châteauroux	22	27*	21x	22	15	19*	14x	14x	—2,2	—1,6*	—2,6x	—2,0
	Auxere	26*	26*	16x	26*	18	21*	11x	19	—2,5	—1,7*	—3,0x	—2,0
	Dijon	21	34*	20x	26	13x	23*	14	20	—2,9x	—1,6*	—2,8	—1,6*
44°—46°	Angoulême	16x	28*	28*	24	15	16	19*	12x	—2,2	—2,1	—1,8*	—2,7x
	Le Puy	17	24*	14x	24*	12	14	10x	18*	—2,2	—1,5*	—3,0x	—1.7
	Lyon	26*	22	25	17x	21*	16	19	11x	—1,0*	—2,5	—2,3	—3,2x
	Pavia	24*	14x	20	19	18*	11x	14	14	—1,7*	—2,8	—2,9	—3,5x
	Mailand	28*	26	18x	25	20	21	15x	22*	—0,9	—0,4*	—2,7x	—1,0
	Padua	25*	24	24	16x	19	23*	15	12x	—1,8	—1,5*	—3,2	—3,3x
42°—44°	St. Jean de Luz	31*	31*	31*	22x	26*	21	26*	16x	—0,2	+0,1*	—1,3	—2,4x
	Toulouse	24*	22	22	15x	16*	13	16*	9x	—1,0*	—2,4	—2,7	—2,9x
	Perpignan	19*	12	14	10x	11*	9	10	5x	—1,6*	—2,9	—3,2	—4,1x
	Montpellier	16*	11	11	7x	11*	9	7	5x	—1,4*	—2,8	—3,4	—3,5x
	Toulon	9*	9*	6	4x	7*	7*	4x	4x	—2,1*	—2,2	—3,7	—4,2x
	Nizza	13*	13*	13*	6x	11*	9	8	4x	—2,3*	—2,3*	—3,2	—3,8x
	Tuscania	16	17*	12	7x	12*	11	10	5x	—1,7*	—1,9	—2,5	—4,4x
40°—42°	Rom	15*	11	8	5x	13*	9	7	3x	—1,6*	—3,0	—3,8	—4,7x
	Bari (Obs.)	9*	9*	8	7x	7*	5	5	4x	—2,6*	—3,5	—3,5	—4,5x
	Bari (Agr. St.)	15*	13	13	7x	10*	8	10*	5x	—2,2*	—3,3	—2,7	—4,0x

1) 20. — 11. Tag vor, 3) 1. — 10. Tag nach,
2) 10. — 1. Tag vor, 4) 11. — 20. Tag nach Beginn der Winterweizen-Ernte
* Höchstwert } der 40tägigen Zeitspanne
x Tiefstwert }

— besonders bei arbeitstechnischen Fragen — von Interesse sind, wurden in der Tabelle 4 die höchsten und niedrigsten Dekadenwerte markiert. In der Mehrzahl der Fälle liegen die Minima bzw. Maxima der beiden Niederschlagshäufigkeiten in derselben Dekade. An manchen Orten zeichnen sich also innerhalb dieses 40-tägigen Zeitraumes bestimmte Dekaden eindeutig durch geringere und andere wiederum durch größere Niederschlagsneigung aus. In 3.2.4.2. werden unter Mitberücksichtigung der Dekadenmittel der klimatischen Wasserbilanz die relativ trockenen bzw. feuchten Dekaden vor und nach der Winterweizen-Ernte noch eingehender betrachtet.

3.2.4. Tagesdaten der klimatischen Wasserbilanz

Neben Temperatur, Niederschlag und Sonnenschein werden das Pflanzenwachstum und die Erträge u. a. auch durch die Verdunstung bestimmt. Der Wasserhaushalt der Pflanzen und die Verdunstung stehen in engem Zusammenhang. Die Verdunstung der Pflanzen wird wiederum einerseits von den klimatologischen Faktoren beeinflußt und ist andererseits von den bei den einzelnen Pflanzenarten und bei den einzelnen Wachstumsabschnitten unterschiedlichen pflanzenphysiologischen Gegebenheiten abhängig. Lange Zeit wurde daher die Verdunstung infolge ihrer schweren Meßbarkeit bei Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Witterung und Ertrag gar nicht oder nur ungenügend berücksichtigt. Auch heute wird sie nur an ausgewählten Stationen — und dort nicht einmal nach einheitlichen Methoden — gemessen. Unter Verwendung meteorologischer Beobachtungsergebnisse wurde durch zahlreiche Berechnungsverfahren versucht, zu Annäherungswerten der Verdunstung zu kommen. Die auf Grund von mehr oder weniger komplizierten Formeln zu berechnenden Verdunstungswerte sollen den wahren Verhältnissen weitgehend entsprechen und möglichst für verschiedene Klimaräume gelten.

Die in diesen Formeln und in der internationalen Literatur gebräuchlichen Hauptbegriffe seien daher hier kurz definiert:

Evaporation	=	Verdunstung
Transpiration	=	Verdunstung der Pflanze
Aktuelle Evapotranspiration	=	Tatsächliche Verdunstung eines geschlossenen Pflanzenbestandes
Potentielle Evapotranspiration (häufig kurz mit PE bezeichnet)	=	Maximal mögliche Verdunstung eines geschlossenen Pflanzenbestandes bei hinreichendem Wasservorrat

Wegen der beschränkten Anzahl der hier für Einzeltage aufbereiteten Klimaelemente (keine täglichen Daten der Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und Sonnenenergie) erschien von den bedeutenden Methoden zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration (Haude, Turc, Penman u. a.) diejenige von Thornthwaite (105) für diese Untersuchung am geeignetsten. Sie basiert auf den Beziehungen zwischen Temperatur und potentieller Evapotranspiration und berücksichtigt durch Anwendung einer Korrektur für die Tageslänge in gewissem Grade auch die breitenmäßig unterschiedliche Einstrahlung. Die Formel enthält außerdem einen Faktor (Klimaindex), der den klimatischen Verhältnissen gerecht werden soll, wie sie sich im Verlauf der mittleren Monatstemperaturen widerspiegeln.

Die Differenz von Niederschlag und potentieller Evapotranspiration wird nach Kuhnke (57) als klimatische Wasserbilanz bezeichnet. In sie gehen verschiedene meteorologische Faktoren ein. Als Maß für trockene und nasse Witterungs- bzw. Klimaperioden sowie zur Abgrenzung von Klimabezirken ist sie daher besonders geeeignet.

„Ein Zeitabschnitt ist als trocken anzusprechen, wenn die klimatische Wasserbilanz negativ ist; ein Zeitabschnitt ist als naß zu bezeichnen, wenn die klimatische Wasserbilanz positiv ist. Bei positiver Wasserbilanz wird die Wasserreserve im Boden vergrößert, bei negativer aufgezehrt“ (53). Gleiche negative Werte der klimatischen Wasserbilanz sind zu Beginn einer Trockenperiode, wenn im Boden im allgemeinen noch ein von den Pflanzen aufnehmbarer Wasservorrat vorhanden ist, weniger kritisch zu beurteilen als im weiteren Verlauf einer Trockenperiode, wenn der Vorrat an Bodenwasser zunehmend aufgebraucht wird. Um die negativen Daten der klimatischen Wasserbilanz hinsichtlich des pflanzlichen Wasserhaushalts richtig einzuschätzen, müssen daher die vorausgehenden Witterungsperioden mit berücksichtigt werden. Das ist bei dem nach Zeitspannen aufbereiteten Material nur indirekt (hier z. B. durch Vergleich mit den Abb. 6 und 8) möglich. Die in 3.3 und 3.4. folgende Datenaufbereitung nach Einzeltagen und Pentaden läßt schon eher Schlüsse auf den Witterungsverlauf innerhalb der Witterungsperioden zu. Völlig befriedigend können aber auch diese Betrachtungen nicht sein, da nur tägliche Niederschlagsmengen und die Dauer von Perioden mit bzw. ohne Niederschlag dargestellt wurden.

Zur richtigen Einschätzung der klimatischen Wasserbilanzen sollten sie mit ihnen zeitlich entsprechenden Werten der Bodenfeuchte verglichen werden. Einheitliche Meßwerte der Bodenfeuchte liegen aber für die hier ausgewählten Stationen in der Periode 1947 — 60 nicht vor. Umsomehr ist es zu begrüßen, daß in einem künftigen Forschungsprojekt von Pfau unter Verwendung der in diesem Rahmen aufbereiteten Klimadaten der „Bodenwasserhaushalt des EWG-Raumes“ errechnet und „Gebiete mit Bodenwasserüberschuß und -defizit in phänologisch-begrenzten Perioden“ festgelegt werden sollen.

Für den EWG-Raum kommt bei Betrachtungen des Wasserhaushaltes und seinen Beziehungen zur Landwirtschaft den Darstellungen von Mohrmann, Keßler und van Staveren (63, 100, 101) eine große Bedeutung zu (siehe S. 9). Sie beruhen auf Monatsdaten der potentiellen Evapotranspiration und wurden nach der Formel von Turc berechnet. Wenn darüber hinaus in diesem Rahmen für ausgewählte Stationen des gleichen Bereichs Werte der klimatischen Wasserbilanz berechnet wurden, so geschah dies in dem Bestreben, diese innerhalb pflanzlicher Entwicklungsabschnitte und auch innerhalb kürzerer kalendarischer Zeiteinheiten zu untersuchen.

3.2.4.1. Häufigkeiten und Summenprozentwerte von Tagesdaten der klimatischen Wasserbilanz in phänologischen Zeitspannen

Tägliche Werte der klimatischen Wasserbilanz wurden wegen des großen Arbeitsaufwandes nur für die Stationen Montpellier und Lille berechnet. Auf gewisse Vorbehalte wegen der zeitlichen Zuordnung der zu unterschiedlichen Terminen beobachteten Temperatur- und Niederschlagsdaten wurde bereits auf Seite 14 hingewiesen. Die Auszählung erfolgte sowohl im negativen als auch im positiven Bereich der klimatischen Wasserbilanz für 1-mm-Stufen (z. B. —4,0 bis —4,9; —5,0 bis —5,9 und entsprechend +4,0 bis +4,9; +5,0 bis +5,9 mm usw.). Wie bereits die Temperaturdaten wurden auch die Tageswerte der klimatischen Wasser-

Tab. 5

Relative Häufigkeit und Summenprozentwerte (kursiv) von Tageswerten der klimatischen Wasserbilanz in phänologischen Zeitspannen (a_1, a_2, a, b, c, d, e) für die Stationen Lille und Montpellier

Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz (mm)	a_1 Sommergetreide-Aussaat bis Apfelblüte				a_2 Apfelblüte bis Winterweizen-Ährenschieben				a Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieb.				b Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte				c Winterweizen-Ernte bis -Aussaat				d Winterweizen- bis Sommergetreide-Aussaat				e Sommergetreide- bis Wintergetreide-Aussaat			
	Lille		Montp.		Lille		Montp.		Lille		Montp.		Lille		Montp.		Lille		Montp.		Lille		Montp.		Lille		Montp.	
—7,0 bis —7,9																	0,1	*0,1*										
—6,0 bis —6,9													0,1	*0,1*					0,4	*0,4*							0,2	*0,2*
—5,0 bis —5,9					1,1	*1,1*			0,5	*0,5*			2,7	*2,8*	1,1	*1,1*	0,5	*0,6*	6,8	*7,2*	0,1	*0,1*			1,1	*1,1*	3,7	*3,9*
—4,0 bis —4,9					4,1	*5,2*			1,9	*2,4*			16,5	*19,3*	15,8	*16,9*	4,4	*5,0*	27,8*	*35,0*					6,7	*7,8*	16,8	*20,7*
—3,0 bis —3,9	1,2	*1,2*	0,1	*0,1*	19,6	*24,8*	4,1	*4,1*	9,5	*11,9*	1,2	*1,2*	38,8*	*58,1*	34,0*	*50,9*	19,7	*24,7*	22,6	*57,6*	0,1	*0,2*			21,0	*28,8*	18,0	*38,7*
—2,0 bis —2,9	13,4	*14,6*	6,0	*6,1*	35,7*	*60,5*	34,7	*38,8*	23,5	*35,4*	13,6	*14,8*	16,6	*74,7*	31,5	*82,4*	30,5*	*55,2*	18,5	*76,1*	0,5	*0,7*	0,3	*0,3*	23,9*	*52,7*	19,3	*58,0*
—1,0 bis —1,9	39,1*	*53,7*	42,5*	*48,6*	15,6	*76,1*	43,9*	*82,7*	28,5*	*63,9*	42,8*	*57,6*	5,6	*80,3*	4,7	*87,1*	19,3	*74,5*	12,2	*88,3*	11,5	*12,2*	17,1	*17,4*	19,1	*71,8*	20,6*	*78,6*
—0,0 bis —0,9	19,7	*73,4*	31,9	*80,5*	3,9	*80,0*	4,1	*86,8*	12,6	*76,5*	24,5	*82,1*	3,4	*83,7*	1,9	*89,0*	5,6	*80,1*	2,3	*90,6*	37,3*	*49,5*	57,5*	*74,9*	7,8	*79,6*	9,1	*87,7*
+0,0 bis +0,9	10,6	*84,0*	4,5	*85,0*	4,1	*84,1*	1,0	*87,8*	7,6	*84,1*	3,6	*85,7*	2,5	*86,2*	1,1	*90,1*	4,3	*84,4*	1,6	*92,2*	22,4	*71,9*	10,4	*85,3*	5,2	*84,8*	2,1	*89,8*
+1,0 bis +1,9	4,8	*88,8*	3,1	*88,1*	4,1	*88,2*	1,7	*89,5*	4,5	*88,6*	2,7	*88,4*	3,2	*89,4*	0,9	*91,0*	3,1	*87,5*	0,8	*93,0*	7,1	*79,0*	2,7	*88,0*	3,7	*88,5*	1,4	*91,2*
+2,0 bis +2,9	2,5	*91,3*	1,2	*89,3*	3,2	*91,4*	1,7	*91,2*	2,8	*91,4*	1,3	*89,7*	1,9	*91,3*	1,5	*92,5*	2,1	*89,6*	0,6	*93,6*	5,4	*84,4*	2,0	*90,0*	2,4	*90,9*	1,0	*92,2*
+3,0 bis +3,9	1,4	*92,7*	1,0	*90,3*	1,7	*93,1*	1,4	*92,6*	1,5	*92,9*	1,1	*90,8*	1,9	*93,2*	0,8	*93,3*	2,1	*91,7*	0,4	*94,0*	3,5	*87,9*	1,5	*91,5*	1,8	*92,7*	0,7	*92,9*
+4,0 bis +4,9	2,4	*95,1*	0,9	*91,2*	2,1	*95,2*	0,7	*93,3*	2,2	*95,1*	0,8	*91,6*	0,9	*94,1*	0,5	*93,8*	1,7	*93,4*	0,6	*94,6*	2,9	*90,8*	1,2	*92,7*	1,7	*94,4*	0,6	*93,5*
≧+5,0	4,9	*100,0*	8,8	*100,0*	4,8	*100,0*	6,7	*100,0*	4,9	*100,0*	8,4	*100,0*	5,9	*100,0*	6,2	*100,0*	6,6	*100,0*	5,4	*100,0*	9,2	*100,0*	0,7	*100,0*	5,6	*100,0*	6,5	*100,0*

* = größte relative Häufigkeit pro 1-mm-Stufe der klimatischen Wasserbilanz

bilanz für phänologische Zeitspannen ausgezählt, deren relative Häufigkeiten in den einzelnen Stufen berechnet und mit den entsprechenden Summenprozentwerten in der Tabelle 5 zusammengefaßt. Einige sehr hohe positive Bilanzwerte ergaben sich — besonders für Montpellier — auf Grund der in Südfrankreich häufigen Starkniederschläge. Die klimatischen Wasserbilanzen $\geqq 5{,}0$ mm wurden zusammengefaßt, da sie zu einem großen Teil durch sehr starke Niederschläge bewirkt wurden, von denen ein großer Anteil durch oberflächlichen Abfluß oder Sickerung für den Wasserhaushalt der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ziemlich bedeutungslos ist. Das Material wurde für alle phänologischen Zeitspannen (a 1, a 2, a, b, c, d, und e) aufbereitet.

Aus der relativen Häufigkeit ist zu ersehen, daß die beiden Stationen für alle Zeitspannen die größte Häufigkeit im negativen Bereich der klimatischen Wasserbilanz liegt. Allerdings ist z. B. eine große Häufigkeit zwischen 0 und —1 mm für die Pflanzenwelt weit weniger kritisch als die gleiche Häufigkeit für Werte zwischen —3 und —4 mm (Vergleich der Zeitspannen d und b). In Lille wurde für die Zeit zwischen Winterweizen-Ährenschieben und -Ernte (b) mit 83,7% die größte Häufigkeit der Tage mit negativer klimatischer Wasserbilanz, für die winterliche Zeitspanne (d) mit 49,5% die geringste berechnet. In Montpellier betrugen die entsprechenden Werte 90,6% in der Zeitspanne c und 74,9% in der Zeitspanne d. Während in Lille der Anteil der Tage mit negativer klimatischer Wasserbilanz in 5 der untersuchten Zeitspannen (a 1, a 2, a, d, e) $\leqq 80{,}0\%$ war, ergaben sich für Montpellier nur für die winterliche Zeitspanne (d) $\leqq 80{,}0\%$ der Tage mit einem Wasserdefizit. Der genannte Höchstwert von 90,6% z. B. bedeutet, daß in Montpellier in der Zeit zwischen Winterweizen-Ernte und -Aussaat (c) im Durchschnitt der Jahre nur an 9 von 100 Tagen die Niederschlagsmenge größer als die potentielle Evapotranspiration war. Vorausgesetzt, daß der Niederschlag tatsächlich unmittelbar den Pflanzen zugute kam und nicht durch vorzeitige Verdunstung, oberflächlichen Abfluß und Versickerung (in tiefere Bodenschichten) der Pflanzenwelt an den betreffenden Tagen verlorenging, konnte es also nur an diesen durchschnittlich 9 Tagen zur maximal möglichen Verdunstung kommen. An allen anderen Tagen gab es demnach ein Wasser- oder — wie es auch genannt wird — ein Verdunstungsdefizit. In der Zeit zwischen Winterweizen-Ernte und -Aussaat fehlten in Montpellier etwa an 60% aller Tage mehr als 3 mm Wasser zur potentiellen Evapotranspiration. An 35% der Tage kam es zu einem Defizit der klimatischen Wasserbilanz von mehr als 4 mm. Nur an 10% der Tage war die Bilanz positiv. Ein Defizit in Montpellier ist im Vergleich zu Lille um so kritischer, da in Südfrankreich um diese Jahreszeit kaum noch mit einem genügenden Bodenwasservorrat zu rechnen ist. Außerdem wird es nur in Ausnahmefällen rentabel sein, ein derartig hohes tägliches Niederschlagsdefizit durch künstliche Bewässerung oder Zusatzberegnung kompensieren zu wollen.

Ein Vergleich der Wertepaare von Lille und Montpellier zeigt eine auffallende Übereinstimmung der Häufigkeit der klimatischen Wasserbilanz in der Zeit zwischen Sommergetreide-Aussaat und Apfelblüte (a 1) und vom Winterweizen-Ährenschieben bis zur Ernte (b). In der herbstlichen Zeitspanne (c) ist in Montpellier der Anteil der Tage mit einem Verdunstungsdefizit in allen Stufen der klimatischen Wasserbilanz sehr viel höher als in Lille. In der Frühjahrszeitspanne (a) hat Lille dagegen einen höheren Anteil der Tage $\geqq -1$ mm.

Negative Wasserbilanzen sind, wie bereits erwähnt, im Frühjahr für das Pflanzenwachstum weniger kritisch als im vorgerückten Verlauf des Vegetationsjahres, da sie zu Beginn der Vegetationszeit noch zum größten Teil durch die im Winter im Boden aufgespeicherten Wasservorräte kompensiert werden können. Diese Bodenreserven werden je nach dem Grad der negativen Bilanzen mehr oder weniger schnell aufgebraucht. Übersteigen die täglichen Niederschlagswerte die Werte der potentiellen Evapotranspiration, so kann der Bodenwasservorrat aus dem Wasserüberschuß aufgefüllt werden. Leider können die in dieser Untersuchung erarbeiteten Häufigkeiten (Tab. 5) und Zeiten (siehe auch Abb. 11 XIII und 14 IV) positiver klimatischer Wasserbilanzen nur aufgezeigt werden. Eine quantitative Beurteilung derselben im Hinblick auf Zeiten mit Wasserbilanzdefizit kann erst erfolgen, wenn die Ergebnisse der geplanten Untersuchung des Bodenwasserhaushaltes vorliegen. Besonders für Gebiete mit ausgesprochenen Trocken- oder Dürreperioden muß eine Möglichkeit gefunden werden, den auf Grund des Niederschlagsüberschusses aufgefüllten Bodenwasservorrat mit dem jeweiligen sommerlichen Wasserbilanzdefizit in eine größenordnungsmäßige Beziehung zu setzen, um den Zeitpunkt zu ermitteln, da das von den Pflanzen nutzbare Bodenwasser aufgezehrt ist (siehe hierzu (13), Fig. 18).

Außer den dargestellten Häufigkeiten bestimmter Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz sind für die Landwirtschaft auch die Summen derselben in phänologischen Zeitspannen von Bedeutung. Auf Grund der Abweichung der aktuellen Summe von den langjährigen mittleren Summen könnten z. B. eine laufende Beurteilung des Pflanzenwachstums und der voraussichtlichen Ernteerträge sowie Beregnungshinweise gegeben werden. Einen Vergleich der Summen der 14jährigen Tagesmittel der klimatischen Wasserbilanz in Lille und Montpellier in den nach langjährigen mittleren phänologischen Daten abgegrenzten Zeitspannen soll die Tabelle 6 ermöglichen. Betrachtet man zunächst die Summe aller klimatischen Wasserbilanzen, so zeigt sich wieder, daß in den Zeitspannen zwischen Sommergetreide-Aussaat und Winterweizen-Ernte (a1, a2, b) für Montpellier geringere negative Summen errechnet wurden. Von der Sommergetreide-Aussaat bis zur Apfelblüte (a1) gibt es in Montpellier infolge der ergiebigen Niederschläge im März (siehe Abb. 12 I) sogar einen Niederschlagsüberschuß von +51 mm, der z. T. in den folgenden Zeitspannen der Pflanzenwelt in Form von Bodenwasser zugute kommt. Auch in der Zeit vom Ährenschieben bis zur Ernte (b) ergab sich für Lille noch eine höhere negative Summe als für Montpellier. In der zwischen der Winterweizen-Ernte und der -Aussaat liegenden Zeitspanne (c) ändern sich die Verhältnisse. In diesem Zeitabschnitt waren in Montpellier die Verhältnisse weitaus ungünstiger. Dabei sei schon hier erwähnt, daß in Montpellier im letzten Viertel dieser Zeitspanne — also vor allem z. Z. der starken Herbstniederschläge Ende September und im Oktober — im Mittel fast ausschließlich positive tägliche Wasserbilanzen errechnet wurden. Die 100 mm der positiven Wasserbilanzwerte dieser Zeitspanne (c) fallen überwiegend in das letzte Zeitspannenviertel. Die negativen Werte der herbstlichen Zeitspanne (c) fallen so stark ins Gewicht, daß die ackerbaulich nutzbare Zeit (e) im Hinblick auf die klimatische Wasserbilanz in Montpellier ungünstiger erscheint als in Lille. Die Zeit mit einem hohen durchschnittlichen Anteil von Tagen mit klimatischen Wasserbilanzen von —2 bis maximal —5 mm reicht aber nur von Mitte Juni bis Mitte September. Die übrigen Abschnitte der Vegetationszeit sind im Hinblick auf die mittlere tägliche klimatische Wasserbilanz in Montpellier sogar relativ günstig. Derartige Unterschiede, innerhalb einer längeren phänologischen Zeitspanne, die, wie hier in Südfrankreich, landwirtschaftlich sehr bedeutsam sein mögen, können bei der Zusammenfassung der Klimawerte nicht klar genug zum Ausdruck

Tab.6
Summen der Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz in phänologischen Zeitspannen (a_1, a_2, b, c, d, e) für Lille und Montpellier

Zeitspanne	Summe aller klimatischen Wasserbilanzen (mm)		Summe nur der negativen klimatischen Wasserbilanzen (mm)		Summe nur der positiven klimatischen Wasserbilanzen (mm)	
	Lille	Mont-pellier	Lille	Mont-pellier	Lille	Mont-pellier
a_1 Sommergetreide-Aussaat bis Apfelblüte	—6.8*	+51.5	—19.7*	—9.7	+12.9*	+61.2
a_2 Apfelblüte bis Winterweizen-Ährenschieben	—47.2*	—19.6	—49.0*	—28.2	+1.8*	+8.6
b Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte	—101.6*	—82.4	—105.1*	—85.6	+3.5	+3.2*
c Winterweizen-Ernte bis -Aussaat	—62.1*	—193,0*	—71.1	—293.1*	+9.0*	+100.1
d Winterweizen-Aussaat bis Sommergetreide-Aussaat	+162.6	+133.4*	—5.1	—15.5*	+167.7	+148.9*
e Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Aussaat	—217.7	—243.5*	—244.9	—416.6*	+27.2*	+173.1

kommen. Eine Teiluntersuchung, wie sie in 3.2.4.2. beschrieben wird, ist daher vornehmlich für lange und in ihrem Witterungsverlauf wenig einheitliche Zeitspannen erforderlich. In diesem Zusammenhang sei auch auf die in 3.3. und 3.4. zu erläuternde Datenaufbereitung nach Kalendertagen und Pentaden verwiesen.

3.2.4.2. Klimatische Wasserbilanz um die Zeit der Winterweizen-Ernte

Die Berechnung mittlerer Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz wurde in einem Beispiel auch für kürzere phänologische Zeitabschnitte vorgenommen, und zwar entsprechend der Niederschlagshäufigkeit (3.2.3.2.) jeweils für zwei vor und zwei nach Beginn der Winterweizen-Ernte liegende Dekaden. Für spezielle Fragen im Hinblick auf die Erntemethoden (klimabedingter Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen, besonders Mähdrescher) ist außer der Niederschlagshäufigkeit z. B. auch die Luftfeuchtigkeit von Interesse. Da letztere aus den eingangs geschilderten Gründen nicht aufbereitet werden konnte, soll hier der Versuch unternommen werden, auf Grund von Mittelwerten der klimatischen Wasserbilanz ähnliche verwendbare Unterlagen zu schaffen. Die klimatische Wasserbilanz schien zur Klärung der erwähnten Fragen geeignet, da in deren Werten neben der Verdunstung auch die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse mitberücksichtigt werden.

In Tabelle 4 sind für die 48 Auswahlstationen die mittleren Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz der einzelnen Dekaden zusammengestellt und die höchsten und niedrigsten Dekadenwerte entsprechend gekennzeichnet. Bergen ist die einzige Station, für die ausschließlich positive, und zwar sogar recht hohe (Höchstwert +6,8 mm!) Dekadenmittel errechnet wurden. Vor allem die nördlicheren Küstenstationen zeichnen sich durch nahezu ausgeglichene um 0 mm liegende klimatische Wasserbilanzen aus. Erstaunlicher ist es, daß z. B. schon bei Brest und dem südfranzösischen Küstenstationspaar St. Jean de Luz / Biarritz neben Dekaden mit Mittelwerten von —1,9 bzw. —2,4 mm innerhalb dieser relativ kurzen 40tägigen Zeitspanne auch noch positive Dekadenmittel berechnet wurden. Für Rom beträgt das höchste negative Mittel —4,7 mm und das niedrigste —1,6 mm. Diese beiden Werte zeigen die schnelle Zunahme negativer Wasserbilanzen im südeuropäischen Raum innerhalb der 4 Dekaden vor bzw. nach Beginn der Winterweizen-Aussaat.

In der Mehrzahl der Fälle liegen sowohl bei den beiden Niederschlagshäufigkeiten als auch bei den klimatischen Wasserbilanzen die tiefsten bzw. höchsten Werte in derselben Dekade. Es gibt also innerhalb dieses 40-tägigen Zeitraumes trockenere und feuchtere Dekaden, d. h. Dekaden mit geringerer Niederschlagsneigung und niedrigeren Wasserbilanzwerten und umgekehrt Dekaden mit größerer Niederschlagsneigung und höheren Wasserbilanzwerten. An 34 Stationen liegen jeweils 3 Tiefstwerte und an 30 Stationen 3 Höchstwerte in derselben Dekade. Bei diesen Stationen zeichnen sich in der untersuchten Zeitspanne also eindeutig trockenere und feuchtere Dekaden ab. An weiteren 14 bzw. 16 Stationen fallen nur jeweils zwei Extremwerte in dieselbe Dekade, womit sich diese Dekaden nicht so eindeutig als besonders trocken oder feucht charakterisieren lassen. Bei Straßburg und Mailand liegen die drei Höchstwerte sogar in verschiedenen Dekaden.

Betrachtet man die trockenste Dekade im Nordsüdschnitt, so ergibt sich folgendes Bild. Zwischen 56° und 60° geographischer Breite sind es vornehmlich die 3. und 4. Dekaden, also die Zeit nach Erntebeginn, zwischen 50° und 54° dagegen die 1. und 2., also die vor der Ernte liegenden Dekaden. Dann kommt ein 6° breiter Übergangsstreifen, in dem sich die Minima allmählich gegen die letzte Dekade verschieben, in die sie südlich 44° geographischer Breite mit großer Regelmäßigkeit fallen. Bei den Maxima treten die Nordsüdvariationen nicht so klar hervor. Die feuchteste dieser 4 Dekaden läßt sich durch die 3 Kriterien ohnehin nicht so eindeutig erfassen, wie es bei der trockensten möglich war. — Vom agrarklimatologischen Standpunkt erscheint es bedenklich, daß bei 8 Stationen (Karlstad, De Bilt, London, Lille, Vlissingen, Brest, Cherbourg, Angoulême) die ersten 10 Tage nach Beginn der Ernte sowohl die größten Niederschlagshäufigkeiten, als auch die höchsten Werte der klimatischen Wasserbilanz aufweisen. Für den in der Umgebung dieser Stationen angebauten Winterweizen ist hinsichtlich der Ernte und der Einbringung des Erntegutes mit Schwierigkeiten zu rechnen. Aller-

dings ist auch hierbei zu beachten, daß es sich nur um 14jährige, nicht aber um langjährige klimatologische Mittel handelt.

Ein allmählicher Übergang ist von den hohen Niederschlagshäufigkeiten und niedrigen Wasserbilanzwerten im Norden zu den weit niedrigeren Häufigkeiten der Niederschlagstage und höheren negativen Wasserbilanzen im Süden zu ersehen. Die Differenzen zwischen den höchsten und tiefsten Dekadenwerten, und zwar besonders die der klimatischen Wasserbilanz, weisen z. T. recht markante regionale Unterschiede auf. Im Mittel aller 48 Stationen sind die Differenzen mit 10 bzw. 9% bei den Häufigkeiten von Tagen mit Niederschlagssummen $\geqq 1{,}0$ bzw. $\geqq 2{,}5$ mm und mit 1,6 mm bei der klimatischen Wasserbilanz recht beachtlich.

Von großem Interesse wäre es, das Klimamaterial entsprechend der hier verwendeten Methode auch für Einzeljahre nach den tatsächlichen Daten des Erntebeginns aufzubereiten. Vermutlich würden derartige Ergebnisse die regionalen und zeitlichen Unterschiede noch deutlicher erkennen und für die verschiedenen Belange der Landwirtschaft auswerten lassen.

3.2.5. **Frosthäufigkeit**

Ein sehr wichtiges agrarklimatologisches Problem ist die Frostgefährdung. Frostdaten, wie z. B. mittlerer und absoluter letzter Frost im Frühjahr und erster Frost im Herbst oder Dauer der frostfreien Zeit, die in zahlreichen Klimabeschreibungen in Tabellen- und Kartenform zusammengestellt wurden, lassen sich ohne die Phänologie nur schwer mit dem wirklichen Vegetationsjahr in Beziehung bringen.

So untersuchte Gutsche (34) die Fröste im Frühling und Herbst bei verschiedenen Großwetterlagen für 5 deutsche Stationen in einheitlichen Halbmonats- und Monatsabschnitten; nämlich in der Zeit vom 16. bis 30. April und vom 1. bis 31. Mai sowie vom 1. bis 30. September und vom 1. bis 16. Oktober. Dies sind Zeiten, während denen im mitteleuropäischen Raum die Pflanzen gegenüber Nachtfrösten im allgemeinen gefährdet sind. Für einen regional begrenzten und klimatisch nicht sehr unterschiedlichen Raum kann diese Art der Klimamaterial-Aufbereitung die pflanzenbaulichen Verhältnisse schon in einem gewissen Maße berücksichtigen. Wirft man jedoch in diesem Zusammenhang einen Blick auf die Abbildung 1, so gelangt man zu der Feststellung, daß für den EWG-Raum mit seinem zeitlich so unterschiedlichen Vegetationsablauf derartige starre Datumsgrenzen noch nicht geeignet sind, die Frostgefährdung in gleichen Vegetationsabschnitten zu untersuchen. Eine Möglichkeit, den Auswertungszeitraum ohne das Vorhandensein geeigneter phänologischer Daten an die Vegetationszeit anzupassen, wurde von Golubova (30, 9) für das weite Gebiet der UdSSR veranschaulicht. Sie verwandte variable Grenzen und wählte für die Frosttageauszählung die Zeiten, da das Tagesmittel der Lufttemperatur über $+5°$ C und über $+10°$ C lag. Für Räume, für die noch keine ausreichenden phänologischen Beobachtungsdaten vorliegen, ist die zeitliche Begrenzung durch solche Temperaturschwellenwerte eine Methode, womit der Landwirtschaft zunächst schon gedient ist. Für die Stationen Versailles und Montpellier untersuchten Nigond (66) sowie Godard und Nigond (29) die Frühjahrsfröste im Hinblick auf Möglichkeiten der Frostbekämpfung. Für Versailles konnte die Zeit der Obstblüte durch die jeweiligen jährlichen phänologischen Daten abgegrenzt werden, wohingegen für Montpellier die Hauptzeit der Spätfröste nur durch Halbmonats- und Dekadenabschnitte unterteilt wurde. Hier sollen nun phänologische Daten herangezogen werden, um die Zeiten der Schadfröste im Pflanzenbau zu begrenzen. Die Hauptzeit der Frühjahrsschadfröste in der Land- und Forstwirtschaft entspricht etwa der Obstblüte, die sich durch den Beginn der Süßkirschenblüte und das Ende der Apfelblüte erfassen läßt (90, 14). Für die derartig begrenzte Zeit und für die Zeit vom Beginn bis Ende der Apfelblüte zeichnete Seemann (77) für Nordwestdeutschland eine Karte der Häufigkeit einer frostfreien Blütezeit.

3.2.5.1. **Häufigkeit der Frosttage um die Zeit der Apfelblüte**

Da bisher die Phasen Beginn der Süßkirschenblüte und Ende der Apfelblüte nicht einheitlich für den EWG-Raum vorliegen, wurde hier der Beginn der Apfelblüte zur zeitlichen Begrenzung der Frühjahrsschadfröste gewählt. Um die Hauptzeit der Frostgefährdung auch für andere vor oder nach Beginn der Apfelblüte liegende Pflanzenarten berücksichtigen zu können, wurde für jede Station die relative Frosthäufigkeit für 1 vor und 2 nach Beginn der Apfelblüte liegende Dekaden berechnet (Tab. 7). Da es Unterlagen darüber gibt, wie sich im Mittel die Blühzeiten und Eintrittsdaten anderer Phasen der verschiedenen Pflanzen zueinander verhalten (siehe z. B. (14) Tab. 22), ist es möglich, den für die gesuchte Pflanzenart angemessenen Zeitraum auszuwählen und in den entsprechenden Zahlenwerten der Tabelle 7 zu betrachten.

Keine Fröste bzw. Fröste an weniger als 0,5% aller Tage traten in der vor der Apfelblüte liegenden Dekade im Bearbeitungszeitraum an 17 vor allem nördlich des 58. und südlich des 44. Breitengrades liegenden Stationen auf. In der ersten Dekade nach Beginn der Apfelblüte blieben schon 22 Stationen und in der zweiten 32 der insgesamt 48 Stationen ohne Frost. Die höchsten Frosthäufigkeiten ergeben sich für den frühesten Zeitabschnitt mit 15,0% bei Aachen, für den mittleren mit 8,6% bei Toulouse und für den letzten mit 4,3% bei Straßburg. Hervorzuheben ist die verhältnismäßig große Häufigkeit dieser Frühjahrsfröste bei den deutschen, niederländischen, belgischen und besonders bei den meisten mittelfranzösischen Stationen. Während abgesehen von der am Gebirgsrand gelegenen Station Tuscania und in nur 1,20 m Höhe bei Bari (Agr. St.) in Italien um die Zeit der Apfelblüte kaum Fröste auftraten, drückt sich in den Häufigkeiten von Pavia und Padua schon der höhere Kontinentalitätsgrad der Poebene aus. Die scheinbare klimatische Begünstigung von Mailand (keine Fröste in dieser Zeit) gegenüber dem benachbarten Pavia scheint auf Stadteinfluß oder Stationshöhe zurückzuführen und daher nicht repräsentativ für die Umgebung zu sein. Gerade die in den bekannten Wein- oder Sonderkultur-Anbaugebieten gelegenen Stationen (z. B. Toulouse, Lyon, Angoulême, Auxerre, Straßburg und Karlsruhe, wo in der vor dem Beginn der Apfelblüte liegenden Dekade im Durchschnitt etwa jeder 10. Tag ein Frosttag ist) zeichnen sich durch hohe prozentuale Häufigkeit der Frühjahrsfröste aus. Dies ist eine für die Landwirtschaft bedeutungsvolle Tatsache, die mit nur klimatologischen Methoden kaum zu erfassen ist.

Einschränkend sei wiederum erwähnt, daß als Zeitmarke der langjährige mittlere Beginn der Apfelblüte gewählt wurde und somit nur die durchschnittlichen Frosthäufigkeiten ermittelt werden konnten. Die zeitliche Veränderlichkeit des Blühstadiums ist in den einzelnen Jahren natürlich recht erheblich. Hingewiesen sei deshalb auf eine Abbildung (90 S. 258/259 u. 14 Abb. 15), die sehr eindrucksvoll das Auftreten von Frösten während der Obstblüte in Bad Kissingen in den Einzeljahren 1936 — 1961 zeigt. Sowohl die Nachtfröste, unterschieden nach dem Grad ihrer Intensität, als auch drei Stadien der Kirsch- und Apfelblüte werden dort vergleichbar im Kalenderdiagramm dargestellt.

Tab. 7

Häufigkeit der Frosttage in 1 Dekade vor und 2 Dekaden nach Beginn der Apfelblüte für 48 europäische Stationen

Geogr. Breite	Stationen	Relative Häufigkeit der Frosttage (%)		
		10 Tage vor	10 Tage nach	11. bis 20. Tag nach
		Beginn der Apfelblüte		
60°—62°	Bergen	—	—	—
58°—60°	Oslo	—	—	—
	Karlstad	—	—	—
	Stockholm	—	—	—
56°—58°	Tylstrup	1,4	—	—
	Växjö	7,1	0,7	—
54°—56°	Kopenhagen	—	—	—
52°—54°	Shannon	7,3	4,5	1,8
	Dublin	1,8	—	—
	Den Helder	—	—	—
	De Bilt	5,0	2,1	—
	Eelde	5,7	—	—
	Hamburg	4,3	1,4	0,7
50°—52°	London	—	—	—
	Lille	4,3	2,1	—
	Vlissingen	2,1	—	—
	Uccle	5,0	2,1	0,7
	Süd-Limburg	5,0	2,1	0,7
	Aachen	—	2,9	—
	Winterswijk	15,0	7,1	0,7
	Münster	5,7	3,6	—
48°—50°	Brest	0,7	—	—
	Cherbourg	—	—	—
	Paris	1,2	0,6	—
	Straßburg	10,0	3,6	4,3
	Karlsruhe	13,6	2,9	3,6
46°—48°	Nantes	3,5	—	—
	Le Mans	10,7	7,9	3,6
	Tours	6,4	1,4	—
	Châteauroux	8,2	0,6	1,2
	Auxerre	10,0	4,3	3,6
	Dijon	1,4	2,9	—
44°—46°	Angoulême	8,5	2,3	1,5
	Le Puy	7,9	3,6	3,6
	Lyon	8,6	5,0	1,4
	Pavia	2,1	0,7	—
	Mailand	—	—	—
	Padua	1,0	—	1,0
42°—44°	St. Jean de Luz	—	1,4	2,1
	Toulouse	7,9	8,6	1,4
	Perpignan	—	—	—
	Montpellier	—	1,4	—
	Toulon	—	—	—
	Nizza	—	—	—
	Tuscania	1,0	2,0	—
40°—42°	Rom	—	—	—
	Bari (Obs.)	—	—	—
	Bari (Agr. St.)	2,7	—	—

3.2.5.2. Häufigkeit der Frosttage in phänologischen Zeitspannen

In der Abbildung 9 wurden die Frosttage, d. h. alle Tage an denen das Temperaturminimum unter dem Nullpunkt liegt, für phänologische Zeitspannen aufbereitet. Dabei muß vorausgeschickt werden, daß die Abgrenzung der Zeitspannen nach Getreidephasen gerade in diesem Zusammenhang keinesfalls als sehr wünschenswert, sondern als ein vorläufiger Kompromiß angesehen werden sollte; vielmehr fehlt es, wie bereits unter 2.4. geschildert, an anderen geeigneten phänologischen Phasen.

Um die Zeit der Herbstfröste einzuengen, wurde die Zeitspanne von der Winterweizen-Ernte bis zur Winterweizen-Aussaat (c) in drei gleiche Zeitabschnitte aufgeteilt. Abgesehen von Le Mans traten lediglich im letzten Drittel dieser Zeitspanne Fröste auf. Die relative Häufigkeit dieses Zeitspannendrittels wurde für alle Stationen (A) sowie für die Einzeljahre von Karlsruhe (B) berechnet und in der obersten Säulenreihe der Abbildung 9 veranschaulicht. Eine Unterteilung der winterlichen Zeitspanne d schien wegen der weitgehenden Vegetationsruhe in dieser Zeit nicht erforderlich, so daß in der zweiten Säulenreihe die Gesamtzeitspanne dargestellt ist. Nach unten folgen in der Abbildung das 1., 2. und 3. Drittel der Frühjahrszeitspanne a. Für jede Station wurde das Anfangs- und Enddatum des Zeitspannendrittels bzw. der ganzen Zeitspanne unter die ihn repräsentierende Säule geschrieben.

Hier und für die weiter unten zu besprechenden Frosthäufigkeitsdarstellungen der einzelnen Kalendertage und Pentaden (Abb. 13 u. 16) wurden die Frosttage jeweils nach drei Gesichtspunkten unterschieden. Unter I sind die Frosttage in 4 Stufen nach der Froststärke aufgeteilt. Dabei kann man die Intervalle der täglichen Temperaturminima, nach denen die Aufteilung erfolgte, folgendermaßen umschreiben (15):

—0,0 bis —2,0° C als schwachen Frost,
—2,1 bis —4,0° C als mäßigen Frost,
—4,1 bis —6,0° C als starken Frost,
≧ —6,1° C als schweren Frost

Diese Art der Einteilung der Fröste nach ihrer Stärke ist bekannt. Ihre Bedeutung für die Landwirtschaft liegt auf der Hand und bedarf deshalb hier keiner näheren Erläuterung. Verschiedene Pflanzenarten oder Pflanzenstadien zeichnen sich durch mehr oder weniger starke Widerstandsfähigkeit gegenüber den Frösten aus, die dem Landwirt geläufiger ist als dem Meteorologen. Zur Charakterisierung der zur Zeit der Winterruhe auftretenden Total- oder Teilerfrierungen, die durch extrem niedrige Temperaturen verursacht werden, kann diese Darstellungsart herangezogen werden. Es wäre jedoch günstig, in weiteren Froststärkestufen die Frosttage mit Temperaturen unter —10°, unter —15° und möglichst auch unter —20° C auszugliedern. Ohne die schützende Schneedecke sind dies für manche Kulturen wichtige Schwellen hinsichtlich des Kältetodes. Auch Höhe und Art der Schneedecke und der Bodenzustand sind besonders im Hinblick auf die Wintersaaten von Einfluß, da sie die Frostgefahr abschwächen können.

Unter II sind die Frostwechseltage und Eistage dargestellt. Als Frostwechseltage werden die Frosttage bezeichnet, an denen die nächtlichen Minima unter, die Maxima am Tage über dem Gefrierpunkt liegen, während an den Eistagen auch das Temperaturmaximum negativ ist. Die Frostwechseltage wurden nach ihrer Tagesamplitude, d. h. des zwischen dem Minimum und dem Maximum gelegenen Temperaturintervalls, in 5 Stufen aufgeteilt

(0,0 — 5,0° C,
5,1 — 10,0° C,
10,1 — 15,0° C,
15,1 — 20,0° C,
≧ 20,1 C°).

Der Grund für diese Art der Materialaufbereitung war die Tatsache, daß sogar Fröste geringer Strenge in an sich milden Klimabereichen großen Schaden anrichten können. Vor allem sind dies Fälle und Gebiete, da tagsüber durch hohe Sonneneinstrahlung und meistens auch relativ hohe Temperaturen das Pflanzenwachstum stark angeregt wird. Nachts, besonders in Strahlungsnächten, liegen die Temperaturen unter oder um den Gefrierpunkt. Es kommt zu mehr oder weniger starken Frösten am Erdboden, so daß der Boden im Wurzelbereich der Pflanzen bereits gefroren ist oder tagsüber nur oberflächlich aufzutauen vermag. Das bedeutet, daß der Flüssigkeitsnachschub in der Pflanze, der notwendig ist, um den Verdunstungsanspruch am Tage zu kompensieren, aus dem Boden gar nicht oder nicht in genügendem Maße gewährleistet ist. Vertrocknungserscheinungen der Pflanze können die Auswirkungen derartiger Fröste sein.

Am Beispiel der Douglasie sollen diese durch Wechselfröste verursachten und von Neugebauer (65) untersuchten Trockenschäden etwas ausführlicher erläutert werden. Im Rahmen des Grünen Planes wurden die ärmeren, sog. Grenzertragsböden durch fremdländische Holzarten aufgeforstet. Unter diesen Exoten spielte wegen der großen Massenleistung die sonst als winterhart zu bezeichnende, da nur gegen stark anormale Wetterlagen empfindliche Douglasie für die deutsche Forstwirtschaft eine wichtige Rolle. In den letzten Jahren erlitt die Kultur der Douglasie jedoch erhebliche Rückschläge. Eine physiologische Eigenart dieser Holzart ist es, daß die Nadeln über sehr große Spaltöffnungen verfügen und damit die Möglichkeit zu einem intensiven Gasaustausch und hoher Verdunstung bieten. In der Zeit der zu Ende gehenden Winterruhe, wenn normalerweise der Saftstrom noch völlig stagniert, besteht daher bei der Douglasie die Gefahr, daß bei nächtlichem Frost und intensiver Sonnenstrahlung am Tage die Nadeln Feuchtigkeit verdunsten, die Wurzeln aber noch im gefrorenen Boden stehen. Daher kann es zum Vertrocknen der Pflanzen von oben her und regulären Trockenschäden kommen. Sie wurden vornehmlich bei Sämlingen und verschulten aber noch im Jugendalter befindlichen Pflanzen beobachtet. Mechanische Schutzmaßnahmen wie z. B. das Abdecken mit Fichtenreisig oder ähnlichem blieben unbefriedigend. Besonders der lange und extreme Spätwinter 1962 führte zu großen Schäden. Daß ab Mitte Februar kaum noch Niederschläge auftraten und es tagsüber bei intensiver Sonneneinstrahlung zu recht hohen Temperaturen (5 bis 8° C) und nachts regelmäßig zu Frösten (—5 bis —8° C) kam, war besonders ungünstig. Da so gut wie kein Schnee lag, waren die Pflanzen damals diesen starken Temperaturschwankungen und Strahlungsunterschieden schutzlos ausgesetzt.

Um auch diese Art der Frostschäden zu erfassen, wurde die Tagestemperaturamplitude der Frostwechseltage zur Abstufung des Gefährdungsgrades gewählt. Bei der niedrigsten Amplitudenstufe kann die Temperatur an einem Frosttag maximal bis 5° C über den Nullpunkt ansteigen, so daß das Pflanzenwachstum kaum oder gar nicht angeregt wird. Bei der höchsten Stufe mit über 20° C kann tagsüber schon eine beträchtliche Entwicklung und damit auch Verdunstung eintreten. Mit der Amplitudengröße nimmt verständlicherweise auch die

durchschnittliche Zeit, in der höhere Temperaturen herrschen, und damit auch deren Wirksamkeit für das Pflanzenwachstum zu. Die Signaturabstufungen der Abbildung 9 II vermögen leider die zunehmende Vertrocknungs- bzw. Frostgefahr nicht in dem Maße zu veranschaulichen wie Farbabstufungen der Entwurfszeichnungen. Dennoch ist leicht festzustellen, daß die Höchststufen der Tagesamplituden (Kreuz- und Schrägschraffur) in der winterlichen Zeitspanne (d) kaum, in den einzelnen Dritteln der Frühjahrs- und Herbstzeitspanne (a u. c) dagegen mit einem weit größeren Anteil auftreten. Besonders deutlich wird dies bei den Säulen der Einzeljahre von Karlsruhe (B). Während im Winter (d) in keinem Jahr mehr als 1/4 der Frosttage auf diese beiden Stufen entfallen, gibt es im Herbst (c) in einigen Jahren nur Frosttage mit einer über 20° C (1947) oder über 15° C (1948, 1953, 1959) liegenden täglichen Temperaturamplitude. Im 1. Drittel der Frühjahrszeitspanne (a) stellen diese beiden Stufen z. B. 1948 und 1953 über 30% aller Tage. Auch die Amplitudenstufe 10,1 bis 15,0° C enthält in den Frühjahrsdritteln vermutlich vorwiegend Fälle mit tagsüber mehr oder weniger starker Pflanzenentwicklung. In der Winterzeitspanne (d) werden es vor allem Frosttage sein, an denen das Quecksilber am Tage nur wenig über den Nullpunkt ansteigt und die Pflanzenentwicklung daher kaum angeregt wird.

Die Frostgefährdung durch Vertrocknung könnte noch treffender dargestellt werden, wenn die Frostwechseltage nicht einfach nach Temperaturamplituden aufgeteilt werden, sondern danach, um wieviel Grad das Temperaturmaximum die für den Beginn bestimmter Vegetationsentwicklungen bedeutsamen Schwellenwerte überschreitet. Z. B. Frostwechseltage mit Temperaturmaximum:

≦ — 0,0° C (Eistage),
+ 0,0 bis + 4,9° C,
+ 5,0 bis + 9,9° C,
+10,0 bis +14,9° C,
+15,0 bis +19,9° C,
≧ +20,0° C

Alle die Frosttage, an denen das Temperaturmaximum gar nicht oder nur kurzfristig über den Gefrierpunkt ansteigt, aber unter +5° C bleibt, und an denen es somit zu gar keiner oder nur zu einer sehr geringen Pflanzenentwicklung kommen kann, werden damit ausgesondert. Diese Stufenfolge spiegelt die an Frosttagen tagsüber in zunehmendem Maße mögliche, aber besonders gefährdete Vegetationsentwicklung wider. Es ist zu vermuten, daß ein derart aufbereitetes Material, z. B. für die Winterzeitspanne (d), ein einheitlicheres Bild, das vornehmlich durch die beiden obersten Stufen geprägt wird, ergibt, als es nach der Aufbereitungsmethode II möglich ist.

Die Notwendigkeit zu dieser abgeänderten Aufbereitungsmethode erwies sich erst bei der Ausdeutung der Darstellungen 9 II, 13 II und 16 II. Da zu einer solchen Materialaufbereitung weitere umfangreiche Auszählungsarbeiten erforderlich sind, konnte sie in diesem Rahmen nicht mehr in Angriff genommen werden. Nur für Montpellier und Lille wurde die Auszählung durchgeführt, um den Wert der verbesserten Methode II zu demonstrieren. Die Tabelle 8 enthält die relativen Häufigkeiten der Frosttage für die vorgeschlagenen Stufen der Tageshöchstemperaturen.

Tab. 8
Häufigkeit der Frosttage in den einzelnen Dritteln phänologischer Zeitspannen (c, d, a) für Montpellier und Lille

		c Winterweizen-Ernte bis Winterweizen-Aussaat		d Winterweizen-Aussaat bis Sommergetreide-Aussaat						a Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben					
		3. Drittel		1. Drittel		2. Drittel		3. Drittel		1. Drittel		2. Drittel		3. Drittel	
		Montp.	Lille	Montp.	Lille	Montp.	Lille	Montp.	Lille	Montp.	Lille	Montp.	Lille	Montp.	Lille
Frosttage mit Temperaturmaximum von	≦—0,0° C	—	—	—	0,3	—	7,0	2,8	9,5	—	—	—	—	—	—
	+ 0,0 bis + 4,9° C	—	—	—	7,0	3,6	21,1	4,2	20,6	2,4	2,0	—	—	—	—
	+ 5,0 bis + 9,9° C	—	—	3,3	6,6	15,7	6,2	18,2	12,8	7,3	8,2	—	1,3	—	—
	+10,0 bis +14,9° C	0,2	0,3	9,1	1,0	9,9	0,4	12,9	2,5	13,9	3,8	1,9	4,1	0,2	0,3
	+15,0 bis +19,9° C	—	0,3	1,2	—	0,8	—	1,4	0,4	5,2	0,5	—	0,8	—	—
	≧+20,0° C	—	—	0,2	—	—	—	—	—	0,5	—	—	—	—	—

Die im vorhergehenden beschriebene Art der Frostgefährdung nimmt von den oberen zu den unteren Tabellenstufen zu. Betrachtet man nur die drei untersten Stufen, d. h. die Frosttage mit einer Höchsttemperatur ≧ +10,0° C, so ist vom Herbst (weniger als 1%) bis zum Frühjahr eine Zunahme des prozentualen Anteils festzustellen. Die größte Häufigkeit dieser 3 Stufen wurde in Montpellier mit 19,6% im ersten Drittel, in Lille mit 4,9% im zweiten Drittel der Frühjahrszeitspanne ermittelt. Das Maximum aller Frosttage fällt bei beiden Stationen in das letzte Drittel der Winterzeitspanne (Montpellier 39,6%, Lille 45,8%). In dieser Zeit erreichen zugleich die relativ ungefährlichen Frosttage — d. h. die Frosttage, an denen die Tageshöchsttemperatur unter +5° C oder gar unter dem Gefrierpunkt bleibt und somit tagsüber kaum eine Vegetationsentwicklung möglich ist — ihre höchsten Werte (Montpellier 7%, Lille 30,1%). Diese beiden Stationen, die, obwohl in sehr unterschiedlichen Klimabereichen gelegen, keine großen Unterschiede der Frosthäufigkeit aufweisen, sind, wie die Tabelle 8 zeigt, im Charakter der Frosttage jedoch sehr verschieden. In den gemäßigten Breiten kommt es im Winter an Frosttagen kaum zu Tagestemperaturen über 5° und noch seltener zu Temperaturen über 10° C. Damit ist die Vegetation hier der beschriebenen, besonderen Art von Schädigungen durch Frosteinwirkung (Vertrocknungserscheinungen an den Pflanzen) weniger ausgesetzt als in südlicheren Breiten, wo vor allem im Spätwinter schon sehr hohe Tagestemperaturen erreicht werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß nicht allein die Maxima der Frosttage, sondern ganz allgemein die winterlichen Tageshöchsttemperaturen, die Strahlungsverhältnisse und auch der Feuchtevorrat von Einfluß sind. Durch diese Faktoren wird die mögliche vorzeitige Vegetationsentwicklung bestimmt, von der wiederum das Ausmaß der Frostschäden abhängt.

Unter III wurde die unterschiedliche Dauer der Frostperioden in 5 Stufen (1 Frosttag, 2 u. 3, 4 u. 5, 6 — 9, ≧ 10 aufeinanderfolgende Frosttage) berücksichtigt.

Diese Darstellungsart wird vor allem für die Organisation und die Rentabilität von Frostabwehr-Maßnahmen von Bedeutung sein. Wegen der Bevorratung von Heizmaterial zur Frostschutzbeheizung oder Wasser zur Frostschutzberegnung z. B. ist es von Nutzen, die Häufigkeit von Frostperioden verschiedener Dauer zu kennen.

Besonders interessant ist, daß die langen, 6 und mehr Tage währenden Frostperioden im 1. Drittel der Frühjahrszeitspanne (a), besonders in Süd- und Nordwestfrankreich, noch recht häufig sind (Toulouse und Montpellier um 10%, Lyon und Nantes sogar um 15% aller Tage). Aber auch im 2. Drittel dauern im Mittel die Fröste an einigen Stationen bis zu 5, an fast allen Stationen bis zu 3 Tagen an. Selbst im 3. Drittel gibt es noch an 2 und 3 aufeinanderfolgenden Tagen Frost.

Für die einzelnen Zeitspannendrittel ergaben sich, wie die Abbildung 9 zeigt, für die südlichen und mittleren Breiten recht hohe prozentuale Anteile der Frosttage. Außerdem nimmt gegen Süden in den Übergangsjahreszeiten die Häufigkeit der für die Pflanzenwelt gefährlicheren Fröste zu. Dies ist bei einem Vergleich der Abbildungsteile I bis III durch die von Norden nach Süden zunehmende Signaturdichte festzustellen.

Die Frostgefahr der mittleren Breiten gewinnt dadurch an Bedeutung, daß der Anbau besonders empfindlicher und kostspieliger Kulturen immer weiter gegen die nördlichen Anbaugrenzen und damit bis an die äußersten jeweiligen „Risikogrenzen" ausgedehnt wird. Um die Erfassung des für Anbauplanungen wichtigen „Frostrisikos" bemühte man sich in verschiedenen Spezialuntersuchungen. So untersuchten z. B. Franken (24), Höhne (36), Seemann (77) u. a. das Frostrisiko für phänologische Zeiten an deutschen Einzelstationen oder in Teilgebieten (weitere Hinweise siehe (16) S. 292). Während meistens die extremen Daten der letzten und ersten Fröste einer längeren Beobachtungsreihe, d. h. die Termine bis zu denen bzw. von denen an man mit Frösten rechnen muß, als äußerste Risikogrenze angesehen werden, bemüht man sich bereits, dieses Frostrisiko auch durch Wahrscheinlichkeitszahlen und für phänologisch begrenzte Zeitabschnitte zu erfassen.

3.2.5.3. Beginn und Ende der Frostperiode im Vergleich zu phänologischen Phasen und Zeitspannen

Die Abbildung 10 soll den Vergleich der Frosteintrittzeiten mit den phänologischen Phasen und Zeitspannen ermöglichen. Durch die roten Signaturen sind im oberen Teil A die absoluten und mittleren letzten und ersten Fröste sowie die absoluten letzten und ersten Tage mit negativem Tagesmittel der Lufttemperatur und somit gewissermaßen die allmähliche Zunahme (im Herbst) bzw. Abnahme (im Frühjahr) der Frostwahrscheinlichkeit für alle Stationen dargestellt. Es sind unter den absoluten die letzten bzw. ersten Daten innerhalb des 14jährigen Zeitraumes, unter den mittleren die Mittel der 14 letzten bzw. ersten Frosteintrittsdaten der Einzeljahre zu verstehen. — Im unteren Teil B sind rot die letzten und ersten Frosttage und Tage mit negativem Tagesmittel für die Einzeljahre der vier deutschen Stationen eingetragen. Dabei wurde von der Abbildung 3 die Reihenfolge der Einzeljahre (nach dem Erntetermin ausgerichtet) übernommen. Die Abbildung 10 vermittelt im Teil A einen Überblick der regionalen und im Teil B der zeitlichen Verschiebungen der Früh- und Spätfrostzeiten sowie der frostfreien Zeit. Dieser kann auch aus Karten des Eintrittsdatums der extremen und mittleren Früh- und Spätfröste sowie der extremen und mittleren Zahl der frostfreien Tage, wie sie z. B. von Garnier (26) für Frankreich veröffentlicht wurden, gewonnen werden. Während auf die klimatologischen Ursachen dieser Verschiebungen hier nicht eingegangen wird, sollen sie im Hinblick auf ihre Lage innerhalb des Vegetationsjahres betrachtet werden.

Wie Teil A zeigt, trat im Mittel (strichpunktierte Linie) mit Ausnahme von Karlsruhe der erste Frost im Herbst an allen Stationen erst nach dem Beginn der Winterweizen-Aussaat ein. Südlich 54° geographischer Breite fielen die absolut frühesten Fröste (punktierte Linie) auch in das 3. Drittel, lediglich bei Le Mans in das 2. Drittel der Zeitspanne Winterweizen-Ernte bis -Aussaat (c). Im Frühjahr lagen die absolut letzten Tage mit negativem Temperaturmittel nördlich 54° Breite stets vor der Sommergetreide-Aussaat, südlich dagegen abgesehen von Mailand und Padua, Nizza und Bari nach diesem Termin. Der absolut letzte Frost trat bei den meisten Stationen im 3. und 2. Drittel der Frühjahrszeitspanne (a) auf. Das besagt, daß die Zeit, in der noch Spätfröste möglich sind, ziemlich nah an den mittleren Beginn des Ährenschiebens heranreicht. Der mittlere letzte Frost trat mit Ausnahme von Le Mans jedoch an allen Orten vor dem Beginn der Apfelblüte auf.

Der Teil B zeigt, daß in den einzelnen Jahren der erste Frost in Aachen niemals, in Hamburg und Münster je 3mal und in Karlsruhe 11mal (!) vor der Winterweizen-Aussaat eintrat. Die um die Zeit der Winterweizen-Aussaat liegenden pflanzlichen Entwicklungsstadien sind also in Karlsruhe besonders frostgefährdet. Aachen überrascht durch späten ersten Frost. Ihm folgen dann in verhältnismäßig geringem zeitlichem Abstand die ersten Tage mit negativem Temperaturmittel. Mit Ausnahme von nur je 2 Jahren in Hamburg, Münster und Aachen und einem in Karlsruhe sank das Tagesmittel der Lufttemperatur nach der Hafer-Aussaat in den Jahren 1947 — 1960 nicht mehr unter den Gefrierpunkt. Der späteste Frost fiel in Aachen meist in das 1., bei den übrigen 3 deutschen Stationen ins 2. Zeitspannendrittel. In Aachen traten nach Beginn der Apfelblüte nur in 2 Jahren, in Hamburg in 5, in Münster in 6 und in Karlsruhe in 7 der 14 Jahre noch Fröste auf.

3.2.5.4. Negative Tagesmitteltemperaturen in phänologischen Zeitspannen

Summen der negativen Tagesmittel der Lufttemperatur werden vielfach zur Charakterisierung der Winterstrenge berechnet. Auf Grund der langen Berliner Reihe wurden sie z. B. für die Einzelwinter der Jahre 1766 — 1947 zusammengestellt (46). Die Tabelle 9 enthält die mittlere jährliche Zahl der Tage mit negativem Tagesmittel und die mittlere jährliche Summe der negativen Mittel der Lufttemperatur für phänologische Zeitspannen. Wie bereits im vorhergehenden festgestellt wurde, traten vor der Winterweizen-Aussaat gar keine, in der nachfolgenden winterlichen Zeitspanne (d) dagegen an allen Stationen Tage mit negativem Temperaturminimum auf. An den Stationen Toulon, Nizza, Rom und Bari an weniger als 0,5 Tagen im Mittel. Oslo weist die größte mittlere Zahl der Tage, Karlstad die größte mittlere Summe auf. Innerhalb der einzelnen Gruppen der geographischen Breite gibt es erhebliche Zahlenunterschiede, die sich sowohl durch die wechselnden großräumigen und besonderen örtlichen klimatologischen Gegebenheiten erklären lassen. Die Tage mit negativem Temperaturmittel nach der Sommergetreide-Aussaat sind sehr selten. In London war im Mittel an 2 Tagen und in Winterswijk an einem Tag das Mittel aus $\frac{Tx + Tn}{2}$ unter 0° C. Das tägliche Temperaturmittel, das zwar für manche speziellen Fragen verwendet wird (z. B. zur Beurteilung des Beheizungsgrades von Gewächshäusern), sollte im Hinblick auf die agrarklimatologische Charakterisierung nicht überbewertet werden. Die Maximum- und Minimumtemperaturen sind für das Pflanzenwachstum von weit größerer Bedeutung.

Tab. 9

Mittlere jährliche Zahl der Tage und Summe negativer Tagesmittel der Lufttemperatur in phänologischen Zeitspannen (d, a) für 48 europäische Stationen. (— = keine negativen Tagesmittel; 0 = Wert ≤0,5)

Geogr. Breite	Stationen	d Winterweizen- bis Sommergetreide-Aussaat		a Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben	
		mittlere Zahl der Tage	mittlere Summe in ° C	mittlere Zahl der Tage	mittlere Summe in ° C
60°—62°	Bergen	32	72	—	—
58°—60°	Oslo	92	459	—	—
	Karlstad	89	501	—	—
	Stockholm	81	343	—	—
56°—58°	Tylstrup	53	175	—	—
	Växjö	77	340	—	—
54°—56°	Kopenhagen	42	117	—	—
52°—54°	Shannon	7	9	0	0
	Dublin	5	6	0	0
	Den Helder	17	52	0	0
	De Bilt	26	81	0	0
	Eelde	41	139	—	—
	Hamburg	31	99	—	—
50°—52°	London	6	10	2	4
	Lille	20	56	0	0
	Vlissingen	17	47	0	0
	Uccle	24	70	0	0
	Süd-Limburg	25	73	0	0
	Aachen	29	86	0	0
	Winterswijk	29	93	1	1
	Münster	32	103	0	0
48°—50°	Brest	3	7	0	0
	Cherbourg	2	3	0	0
	Paris	14	35	—	—
	Straßburg	33	115	0	0
	Karlsruhe	34	107	0	1
46°—48°	Nantes	7	16	1	2
	Le Mans	14	35	—	—
	Tours	14	36	0	0
	Châteauroux	17	42	0	0
	Auxerre	20	54	0	0
	Dijon	25	74	0	0
44°—46°	Angoulême	9	23	1	2
	Le Puy	33	110	0	0
	Lyon	19	57	1	1
	Pavia	22	54	0	0
	Mailand	13	30	—	—
	Padua	17	41	—	—
42°—44°	St. Jean de Luz	2	5	0	0
	Toulouse	9	25	1	1
	Perpignan	1	4	0	1
	Montpellier	3	9	1	1
	Toulon	0	1	0	0
	Nizza	0	0	—	—
	Tuscania	1	2	0	0
40°—42°	Rom	0	0	—	—
	Bari (Obs.)	0	0	—	—
	Bari (Agr. St.)	0	0	—	—

Es sei hier noch erwähnt, daß die Darstellung der Frosthäufigkeiten unterhalb 2 m Höhe, im eigentlichen Lebensraum der Pflanzen und in verschiedenen Erdbodentiefen, also im Wurzelraum der Pflanzen, besonders für bestimmte Kulturen von Interesse sein kann. So zeigte z. B. Burckhardt (15) durch Vergleichsauswertung in 200 und 5 cm Höhe für einzelne deutsche Stationen, daß ein geländemäßig günstigerer Standort für niederwüchsige Pflanzen trotzdem frostgefährdeter sein kann, wenn „das Klima der bodennahen Luftschicht" (28) ungünstig beeinflußt wird. Witterstein (116) stellte im Rheingau fest, daß in windschwachen sternklaren Nächten die Tiefsttemperaturen in 5 cm etwa 2 — 3°, in Einzelfällen sogar über 4° C unter denen des 2-m-Niveaus liegen. Im Hinblick auf die bodennahe Luftschicht wäre es daher zweckmäßig, bei künftigen Untersuchungen in die Methode I (siehe 3.2.5.2.) die Stufe mit einem Temperaturminimum von 0 bis +2° C mit einzubeziehen. Denn in vielen Fällen, wenn in Höhe der Thermometerhütte die nächtlichen Temperaturen noch gerade über dem Nullpunkt liegen, gibt es in Bodennähe, also im Lebensbereich vieler Kulturpflanzen, Nachtfrost. Leider werden bisher nur an sehr wenigen Stationen, meistens sind es Sonderstationen, die Temperaturen in verschiedenen Niveaus der unterhalb 2 m liegenden Luftschicht gemessen. Ein großräumig befriedigender Vergleich der Frosthäufigkeit in der bodennahen Luftschicht ist daher z. Z. noch nicht möglich.

Außer den behandelten Klimafaktoren gibt es noch weitere, die im Zusammenhang mit der Frosthäufigkeit von Bedeutung sind und die in einem engen Verhältnis zur Großwetterlage stehen. Erwähnt seien hier nur Windstärke und Windrichtung. Die Erfolgsaussichten für die Frostbekämpfung sind z. B. auch von der Windstärke abhängig. In Nächten mit Windfrost* ist die Frostbekämpfung nahezu aussichtslos. In Nächten mit Strahlungsfrost* kann sie dagegen weitaus erfolgreicher sein. Im Hinblick auf vorbeugende Frostschutzmaßnahmen, z. B. Frostschutzanlagen, spielt die Windrichtung eine größere Rolle, denn in manchen Gegenden treten die Fröste vorwiegend bei bestimmten Windrichtungen auf. Hingewiesen sei nur auf den Einfluß des Mistral im Rhonetal. Es ergibt sich daher die Notwendigkeit, die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Wetterlage und Frosthäufigkeit an einigen in möglichst unterschiedlichen Klimagebieten gelegenen Stationen zu untersuchen. Es würden dadurch Erfahrungen gesammelt, um die für weite Räume bereits erarbeiteten Wetterlagenhäufigkeiten, unter Berücksichtigung der jeweiligen besonderen regionalen Gegebenheiten, zur Abschätzung der allgemeinen Frosthäufigkeit und Frostgefährdung zu nutzen.

Dem Thema der Frostgefährdung wurde hier und in den folgenden Abschnitten gemäß seiner großen Bedeutung für die Landwirtschaft ein sehr breiter Raum beigemessen. Für alle nicht behandelten oder nur kurz angeschnittenen Fragen sei auf den im ersten Band erschienenen „Frostschutz im Pflanzenbau", Quellenwerk über den Nachtfrost, seine Entstehung, Vorhersage und Abwehr (97) verwiesen.

3.3. Klimadaten für Kalendertage in ihrer Beziehung zu phänologischen Phasen

Im vorhergehenden Abschnitt wurden die Klimadaten für phänologische Zeitspannen oder für Teile derselben zusammengefaßt. Dabei ergab sich die Notwendigkeit, das Verhalten der Klimafaktoren innerhalb kürzerer vegetationsbedingter Zeitabschnitte zu kennen, denn kurzfristige Klimaerscheinungen, die oft für die Pflanzenentwicklung ausschlaggebend sein können, werden bei der Zusammenfassung aller Tageswerte in phänologischen Zeitspannen zu Summen oder Mitteln abgeschwächt oder unterdrückt. Da z. Z. entsprechende phänologische Phasen fehlen, um beliebig kurze und spezielle Wachstumsabschnitte zu untersuchen, ist es unerläßlich, den Verlauf des Witterungs- bzw. Klimageschehens innerhalb der Zeitspannen auf Grund kürzerer kalendarischer Zeiteinheiten zu untersuchen. In diesem Abschnitt wurde der Kalendertag als Zeiteinheit der Materialaufbereitung gewählt. Allerdings ist eine Periode von maximal 14 Jahren keinesfalls ausreichend, um ein dem langjährigen klimatologischen Tagesmittel nahekommendes Bild zu vermitteln. Die im folgenden dargestellten 14jährigen Tagesmittel und Absolutwerte entsprechen also nur dem Zeitraum 1947 bis 1960 und dürfen nicht verallgemeinert werden. Am Beispiel einer süd- und einer nordfranzösischen Station — Montpellier und Lille — soll gezeigt werden, wie diese Klimadaten der einzelnen Kalendertage die nach phänologischen Zeitspannen zusammengestellten Klimadaten zu ergänzen vermögen. Zu diesem Zweck wurde der langjährige mittlere Beginn der phänologischen Phasen durch senkrechte Signaturen gekennzeichnet. Durch sie soll ein Vergleich von dem Verhalten der Klimaelemente innerhalb entsprechender vegetationsbedingter Zeitabschnitte an den beiden Stationen ermöglicht werden, der hier wiederum nur beispielhaft in seinen Einzelheiten beschrieben werden kann.

Für den südfranzösischen Raum, in dem relativ wenig Getreide angebaut wird, und der durch die Station Montpellier erfaßt werden soll, mag es wenig sinnvoll erscheinen, den Klimaablauf mit Getreidephasen in Verbindung zu bringen. Dazu sei an dieser Stelle nochmals betont, daß die verwandten phänologischen Phasen, solange keine geeigneteren für den ganzen Raum vorliegen, nur als vegetationsbedingte Zeitmarken aufgefaßt werden sollen und mit entsprechenden Phasen der jeweils üblichen Kulturpflanzen in eine zeitliche Beziehung gebracht werden müssen.

3.3.1. Klimadaten ausgewählter meteorologischer Elemente

In dem oberen Teil der Abbildung 11 wurden die Temperaturen eingezeichnet, und zwar sowohl die absoluten (I u. V) als auch die mittleren (II u. IV) Extreme sowie das Tagesmittel (III) der Lufttemperatur dieser Periode. Um die Zusammengehörigkeit der jeweils entsprechenden Werte der beiden Auswahlstationen zu unterstreichen, wurde der Raum zwischen gleichartigen Kurven mit Schraffur ausgefüllt. Die Schraffurdichte nimmt von den absoluten über die mittleren Temperaturextreme zum Tagesmittel hin ab.

Die landwirtschaftlichen Betriebsformen sollten im großen und ganzen dem Verlauf der mittleren täglichen Maxima und Minima der Lufttemperatur angepaßt sein. Allerdings ist bei der Planung zu berücksichtigen, daß im einzelnen Witterungsablauf auch mit extremeren Temperaturen zu rechnen ist. Aus diesem Grunde wurden außerdem die absoluten Minima und Maxima der Periode 1947 — 60 dargestellt. Verbindet man die äußersten Spitzen der gestrichelten bzw. der ausgezogenen Linie durch ausgeglichene Kurven, so stellen diese gewissermaßen die „Risikogrenzen" für Lille bzw. Montpellier hinsichtlich der Temperaturextreme dar.

Wie wenig allein durch das Tagesmittel die Temperaturverhältnisse für landwirtschaftliche Belange zu charakterisieren sind, soll an dieser Darstellung gezeigt werden. Im Hochwinter bewegen sich die Tagesmittel

* Windfrost (Advektivfrost) = Frost bei gleichzeitigem Wind von einer Geschwindigkeit über 1,5 m/sec.

Frost ohne Wind (Strahlungsfrost) = Frost bei gleichzeitiger Luftruhe oder Luftbewegungen mit einer Geschwindigkeit unter 1,5 m/sec (81).

in Lille etwa zwischen +2° und +4° C, in Montpellier etwa zwischen +5° und +7° C. Die Mitteltemperaturen liegen — was nicht verwundert — in dieser Zeit also in Montpellier um ca. 3° C höher. Betrachtet man für denselben Zeitabschnitt sowohl die Bänder der mittleren als auch die der absoluten Temperaturextreme, so ist festzustellen, daß sich die Minima beider Stationen nahezu im gleichen Niveau halten, in Montpellier sogar tiefere absolute Minima gemessen wurden als in Lille, aber die Maxima von Montpellier im Mittel um ca. 5° C diejenigen von Lille übersteigen. Das bedeutet, daß die winterliche Froststrenge in beiden, klimatisch doch sehr unterschiedlichen Gebieten, nahezu gleich ist. Besonders zu beachten ist jedoch, daß in Lille, wo sich die Tageshöchsttemperaturen in dieser Zeit nur um 5° C bewegen, auch tagsüber noch die Vegetationsruhe anhält. In Montpellier wird dagegen bei Tageshöchsttemperaturen um +10° C und höherer täglicher Sonnenscheindauer die Pflanzenentwicklung am Tage weitaus stärker angeregt. Damit ist im südfranzösischen Raum die Vegetation auch im Winter im Hinblick auf Nachtfröste viel stärker gefährdet, denn es kann (s. S. 31) bei Bodenfrost und ungenügendem Feuchtenachschub zu Vertrocknungserscheinungen an den stark verdunstenden Pflanzenteilen kommen.

Zu Beginn der Sommergetreide-Aussaat (strichpunktierte senkrechte Linie) liegen in Montpellier die mittleren täglichen Minima in Gefrierpunktnähe. Es kam nach diesem Termin noch zu absoluten Minima unter —10° C. In Lille wird das Sommergetreide im allgemeinen zu einem Zeitpunkt ausgesät, da die mittleren Minima bereits +3° C betragen und die absoluten nur bis —5° C absinken. Die mittleren täglichen Maxima betragen dagegen sowohl in Montpellier als auch in Lille z. Z. der Sommergetreide-Aussaat um 10° C. Die Aussaat des Winterweizens (ausgezogene senkrechte Linie) erfolgt in Montpellier und Lille in einer Zeit, da die mittleren Maxima um +15° C, die mittleren Minima um +5° C liegen. Zur Zeit der Winterweizen-Ernte (gestrichelte senkrechte Linie) haben in Lille die Temperaturen ihren Höhepunkt bereits erreicht. In Montpellier treten die jeweiligen Jahreshöchstwerte erst etwa einen Monat später auf.

In den Kurvenpaaren VI und VII sind die Tageswerte der größten und mittleren Tagessumme der Sonnenscheindauer zu betrachten. Im Sommer scheint die Sonne in Montpellier im Mittel täglich ca. 5 Stunden, in den übrigen Jahreszeiten etwa 2 bis 3 Stunden länger als in Lille. Für Lille wurden die höchsten mittleren Sonnenscheinstunden (ca. 8 Stunden) bereits für die Zeit des Ährenschiebens berechnet. Ein anhaltendes Absinken der mittleren Sonnenscheinwerte ist vor der Ernte in Lille allerdings noch nicht festzustellen. Die ackerbaulich nutzbare Zeit beginnt und endet in Montpellier bei einer mittleren täglichen Sonnenscheindauer um 5 Stunden, in Lille um 4 Stunden.

Die Kurve der größten täglichen Tagessummen der Sonnenscheindauer ist für Montpellier sehr ausgeglichen, da fast an jedem einzelnen Kalendertag wenigstens einmal in den 14 Jahren die größtmögliche Sonnenscheindauer erreicht wurde. Werte oberhalb dieser Kurve (Ende Januar und Ende November) beruhen vermutlich auf Fehlern bei der Auswertung der Registrierungen und wurden daher nur punktiert gezeichnet.

Für den Niederschlag wurden die mittleren Tagessummen (VIII) und die 5tägig geglätteten mittleren Tagessummen (IX) dargestellt. Zu beachten ist, daß der Skalenabstand auf der Ordinate bei den geglätteten Kurven verdoppelt wurde, wohingegen die Kurven IX bis XIII im gleichen Maßstab gezeichnet wurden, und damit größenordnungsmäßig untereinander vergleichbar sind.

Wie bereits ausgeführt wurde, kann man auf Grund der 14jährigen mittleren Tagessummen (VIII) noch kaum einen Eindruck vom Jahresverlauf des Niederschlags gewinnen. Die geglätteten Kurven (IX) zeigen den Jahresgang etwas klarer. Allerdings können manche Besonderheiten zufallsbedingt sein und spiegeln damit nicht unbedingt den langjährigen mittleren Niederschlagscharakter wider. In Lille sind die Schwankungen der geglätteten mittleren täglichen Niederschlagssummen geringer und halten sich bis auf wenige Ausnahmen zwischen 1 und 3 mm. Dagegen verläuft die geglättete Kurve von Montpellier im Sommer für mehrere Tage in der Nähe der Grundlinie (0 mm) und steigt im Herbst sogar bis zum Mittelwert von 7 mm an. Auf landwirtschaftlich bedeutsame Abschnitte der Niederschlagskurven wird hier nicht eingegangen, da sie auch — allerdings etwas abgeschwächt und im Spiegelbild — in den Kurven der klimatischen Wasserbilanz zu verfolgen sind.

Die mittleren Tagessummen der potentiellen Evapotranspiration sind aus dem Kurvenpaar X zu entnehmen. Die engen Beziehungen der nach Thornthwaite berechneten potentiellen Evapotranspiration zur wechselnden Tageslänge, die durch die geographische Lage der Stationen bedingt ist, und zum Temperaturverlauf werden deutlich, wenn man die Kurven der potentiellen Evapotranspiration mit denen der Sonnenscheindauer und der Temperatur vergleicht. Zum Beginn der Sommergetreide-Aussaat beträgt die tägliche potentielle Evapotranspiration in Montpellier etwa 0,5 mm und in Lille um 1 mm. Die Höchstwerte werden in Montpellier nach der Ernte mit nahezu 5 mm und in Lille in der zweiten Hälfte der Zeitspanne zwischen Winterweizen-Ährenschieben und -Ernte mit fast 4 mm erreicht. Zur Zeit der Winterweizen-Aussaat wurden für Lille mittlere Tagessummen von 1,5 mm und für Montpellier von 1,0 mm berechnet.

Die jahreszeitlichen Änderungen der Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz lassen sich am besten an den Kurven XI bis XII verfolgen. Das Kurvenpaar IV stellt die größten in den 14 Jahren aufgetretenen negativen Wasserbilanzen dar. Es zeigt, daß an beiden Stationen zu jeder Jahreszeit mit negativen Wasserbilanzen, d. h. mit einem Niederschlagsdefizit zu rechnen ist. In Lille sind die Höchstwerte des Defizits meist etwas niedriger als in Montpellier, wo sie im Winter um —1 mm, im Sommer um —6 mm betrugen. Die mittleren Tageswerte (N — PE) der Kurven XII wurden der Vollständigkeit halber dargestellt. Sie schwanken so sehr, daß wegen der besseren Anschaulichkeit auf die Kurven XIII verwiesen wird, die auf Grund der 5tägig geglätteten Niederschlagsmittel berechnet wurden. Wie nach der Betrachtung der Temperatur- und Niederschlagskurven zu erwarten, ist die Schwankungsbreite der Kurve von Montpellier weitaus größer als die der Kurve von Lille. In Lille liegen sowohl die höchsten negativen Werte im Sommer als auch die höchsten positiven Werte im Winter nur bei 2 mm. Dagegen sind für Montpellier die entsprechenden Werte —4 mm und +4 mm. Der Kurvenverlauf im positiven Bereich ist nur im Hinblick auf die Möglichkeit der Wasserspeicherung von Interesse, ist aber größenordnungsmäßig nicht ohne weiteres zu beurteilen, da ein großer Teil der Niederschlagsmengen durch oberflächlichen Abfluß usw. verlorengeht.

3.3.2. Häufigkeit der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage

Zur Aufbereitung der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage wurden wieder die beiden in 3.2.3.1. beschriebenen Methoden gewählt. Bei der Abbildung 12 (auch bei den Abb. 13, 15, 16) sind die ver-

schiedenen Skalen auf der linken und rechten Seite zu beachten. Links ist die Anzahl und rechts die relative Häufigkeit der Tage mit Niederschlag abzulesen. Die Angabe der Anzahl der Tage, auf der die Auszählungen und Eintragungen beruhen, ist für Einzeltags- und Pentadendarstellungen aus einer Periode von nur 14 Jahren geeigneter als die Angabe der relativen Häufigkeit der Tage. Von einer dem langjährigen Mittel entsprechenden Häufigkeitsverteilung kann bei dieser kurzen Periode — noch dazu beim Niederschlag — kaum die Rede sein.

Im oberen Teil I der Abbildung 12 sind die Niederschlagstage in 4 Stufen unterschiedlicher Tagessumme aufgeteilt. In Montpellier ist die Anzahl der Tage mit Niederschlagsmengen über 10 mm fast im ganzen Jahr, besonders aber im Frühjahr und Herbst, größer als in Lille. Die Niederschlagshäufigkeit betrug in Montpellier nur an 7 Kalendertagen mehr als 50%, in Lille betrug sie dagegen noch an 5 Tagen mehr als 70%. Die Häufigkeit der Niederschlagstage und die Häufigkeit bestimmter täglicher Niederschlagssummen muß bei der Beurteilung der mittleren täglichen Niederschlagssummen (Abb. 11 VIII u. IX) und der mittleren Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz (Abb. 11 XII u. XIII) stets berücksichtigt werden. Wenn auch z. B. Mitte Juli für Montpellier mittlere tägliche Niederschlagsmengen von 2 mm, die also an die Werte von Lille heranreichen, berechnet wurden, so bleibt doch zu bedenken, daß es in Montpellier in dieser Zeit nur jeweils an einem höchstens an 3 von 14 Tagen, in Lille dagegen an 4 bis 9 von insgesamt 14 Tagen Niederschlag gab.

Im unteren Teil II derselben Abbildung wurden die Niederschlagstage bzw. die niederschlagsfreien Tage nach ihrer Zugehörigkeit zu verschieden langen Niederschlags- oder Trockenperioden eingetragen, und zwar sind die Tage mit Niederschlag vom unteren und die Tage ohne Niederschlag vom oberen Rand abgetragen worden. Nahezu das ganze Jahr über gab es in Montpellier Perioden, an denen mehr als 15 Tage hintereinander kein Niederschlag gemessen wurde. Um den 20. Juli beträgt die Häufigkeit dieser Stufe fast 60%. In Lille übersteigt sie dagegen niemals 20%. Um die Zeit kurz vor bis 1½ Monate nach der Ernte zeigt sich in Montpellier ein deutliches Maximum langer Trockenperioden. Die relative Häufigkeit für 8 und mehr aufeinanderfolgende Tage ohne Niederschlag liegt zwischen 45 und 90%. In den Jahren 1947 bis 1960 gab es in diesem Zeitabschnitt maximal an 4 von 14 Tagen Niederschlag; niemals aber folgten mehr als 3 Niederschlagstage aufeinander. Die Zeit von Mitte Juni bis Mitte August scheint in Südfrankreich in dieser Hinsicht besonders kritisch zu sein. In Lille werden sich dagegen nach Beginn der Winterweizen-Ernte die relativ großen Häufigkeiten der Niederschlagstage (bis zu 70%) ungünstig auf die Einbringung des Erntegutes und günstig auf den Anbau von Zweitfrüchten auswirken. Die Häufigkeit von 8 bis 14 aufeinanderfolgenden Niederschlagstagen beträgt zu dieser Zeit um 10%.

3.3.3. **Häufigkeit der Frosttage**

Die drei unter 3.2.5.2. erläuterten Methoden der Frosttageauszählung wurden auch für die Einzeltagsdarstellung der Stationen Montpellier und Lille angewendet. Abbildung 13 veranschaulicht, daß in Montpellier bei der Sommergetreide-Aussaat die Häufigkeit der Frosttage zwar abnimmt, aber mit bei 40% liegenden Werten doch noch erheblich ist. In Lille gab es zur Zeit der Sommergetreide-Aussaat nur noch an etwa 20% der Tage Frost. In Lille trat (siehe Abb. 13 I) nach dieser phänologischen Phase nur noch an einem Tag Frost zwischen 4 und 6°, aber niemals Frost unter 6° C auf. Ungünstiger waren die Verhältnisse in Montpellier, für das die Sommergetreide-Aussaat für Mitte Februar ermittelt wurde. An 14 Tagen kam es nach der Sommergetreide-Aussaat noch zu Frösten unter 4° C, von denen 4 sogar unter 6° C lagen. In den frühesten Abschnitten des Vegetationsjahres waren in Montpellier Fröste häufiger und strenger als in Lille. Zu beachten ist, daß in dem ersten Drittel der Frühjahrszeitspanne (siehe Abb. 13 II) in Montpellier an 37, in Lille nur an 4 Frosttagen die Tagesamplitude der Lufttemperatur über 15° C ging. Womit zu vermuten ist, daß die Vegetationsentwicklung zu dieser Zeit in Montpellier viel schnellere Fortschritte machen kann als in Lille. Frostwechseltage mit Amplituden unter 10° C, an denen das Pflanzenwachstum im allgemeinen weniger angeregt wird, gab es in Montpellier nur in 15, in Lille aber in 34 Fällen. An Eistagen ist Lille verständlicherweise weitaus reicher als Montpellier. Auch die Wahrscheinlichkeit von längeren Frostperioden (siehe Abb. 13 III) ist in Lille in der winterlichen Zeitspanne weitaus größer als in Montpellier. Allerdings gehörten im 1. Drittel zwischen Sommergetreide-Aussaat und Ährenschieben in Montpellier ca. 30% der Frosttage zu Perioden mit über 6 Tagen Dauer.

Diese Betrachtungen, die noch beliebig zu ergänzen wären, sprechen für eine längere Zeit der Vegetationsruhe in Lille, während der die Pflanzenwelt geringeren Gefahren ausgesetzt ist. In Montpellier kommt bei zuweilen gleicher, im ganzen jedoch stärker wechselnder Frosthäufigkeit und den im allgemeinen sehr hohen Tagestemperaturen die Vegetation im Winter kaum zur Ruhe. Sie ist daher, was besonders für die frühen Stadien des Vegetationsjahres zu beachten ist, gegenüber Frösten viel mehr gefährdet.

3.4. **Klimadaten für Pentaden in ihrer Beziehung zu phänologischen Phasen**

Während in 3.2. die Klimadaten für phänologische Zeitspannen und in 3.3. für einzelne Kalendertage aufbereitet wurden, sollen sie hier jeweils für eine Pentade, also für einen Zeitabschnitt von 5 Kalendertagen dargestellt werden. Diese Darstellungsart hat den Vorteil, daß der klimatologische Jahresablauf in großen Zügen zu verfolgen ist, ohne daß er, wie bei der Einzeltagsaufbereitung zu sehr durch Einzelheiten belastet wird. Dabei wirkt sich die weit stärkere Ausgeglichenheit der Pentadenwerte, die den Durchschnitt von jeweils 5 Tageswerten repräsentieren, äußerst günstig aus.

Diese Datenaufbereitung wurde nahezu für alle Auswahlstationen durchgeführt und in Übersichtstabellen zusammengestellt. Sie ermöglichen, den Verlauf einzelner Klimaelemente oder Elementsgruppen innerhalb bestimmter, von Station zu Station zeitlich variabler Abschnitte des Vegetationsjahres zu verfolgen. Die Klimadaten für Pentaden sind eine wichtige Ergänzung des für phänologische Zeitspannen aufbereiteten Klimamaterials. Als Beispiele dieser Aufbereitungsart wurden für die Abbildungen 14 bis 16 jeweils 4 Stationen mit möglichst unterschiedlichem Klimacharakter ausgewählt. Mit 4 Stationen kann jedoch für den ganzen Bearbeitungsraum nur ein schwacher Eindruck von dem wechselhaften Klima und seinen Beziehungen zum Vegetationsablauf vermittelt werden. Daher wird wiederum nur auf die in ihrem Verhältnis zum Vegetationsrhythmus bedeutungsvollen Klimaerscheinungen und ihre regionale Veränderlichkeit hingewiesen. Wie bei den Einzeltagsdarstellungen wurden auch hier die langjährigen mittleren Eintrittstermine der phänologischen Phasen durch senkrechte Linien unterschiedlicher Signatur gekennzeichnet, um den klimatologischen Vergleich entsprechender Zeitabschnitte des Vegetationsjahres an verschiedenen Orten zu ermöglichen.

3.4.1. Klimadaten ausgewählter meteorologischer Elemente

In der Abbildung 14 sind die mittleren klimatologischen Tageswerte der Stationen Bari (Obs.), Toulouse, Karlsruhe und Oslo für die einzelnen Pentaden enthalten. Die 4 Auswahlstationen werden sowohl im Kurvenverlauf der Klimaelemente als auch in den senkrechten Abgrenzungslinien der phänologischen Phasen durch Signaturen unterschieden. Daher wurden in dieser Abbildung die phänologischen Phasen ausnahmsweise durch Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Zu jeder Phase gehören also 4 Linien unterschiedlicher Stationssignatur, die im oberen und unteren Teil der Darstellung durch den entsprechenden Buchstaben kenntlich gemacht werden. Die in der 36. Pentade eingezeichnete punktierte Linie b besagt z. B., daß im Raum von Oslo das Winterweizen-Ährenschieben im langjährigen Mittel erst Ende Juni beginnt. Für die drei anderen Stationen liegt dieser Termin, wie aus den 3 restlichen mit b gekennzeichneten Linien zu ersehen ist, zwischen der 24. und 31. Pentade, d. h. um den Monat Mai.

Als Vergleich des Klimaablaufs verschiedener Stationen im gleichen Vegetationsabschnitt sei als Beispiel die klimatische Wasserbilanz (Abb. 14 IV) für Bari und Oslo zwischen dem Ährenschieben und der Ernte des Winterweizens erläutert. Zu diesem Zweck ist der Kurvenabschnitt der ausgezogenen Kurve (Bari) zwischen den gedachten Schnittpunkten der ausgezogenen senkrechten Linien b und c (Ährenschieben und Ernte in Bari) mit dem punktierten Kurvenabschnitt (Oslo) zwischen den punktierten senkrechten Linien a und b zu vergleichen. Für Bari beginnt diese Zeitspanne um die Wende April/Mai mit einer negativen Wasserbilanz von etwa 1 mm. Abgesehen von der 28. Pentade nimmt die mittlere klimatische Wasserbilanz bis Anfang Juni auf —3,5 mm zu. Während der Kurvenverlauf im ganzen bis Ende Juli noch auf —5 mm ansteigt, endet die betrachtete Zeitspanne aber schon Mitte Juni, in der 33. Pentade bei einem geringfügigen Rückgang der negativen Wasserbilanz auf —3 mm. In Oslo beginnt das Ährenschieben Ende Juli mit fast —2 mm und endet erst Ende August mit um 0 liegenden Werten der klimatischen Wasserbilanz. Als Folge der im Verlauf dieser Zeitspanne sehr unterschiedlichen Niederschlagssummen (zwischen 2 und 6 mm) ist die langsam abfallende Tendenz der Wasserbilanzkurve für diesen Vegetationsabschnitt gestört. Die hohe Niederschlagssumme in der 45. Pentade führte zu einer ausgeprägten Spitze im unteren positiven Bereich der klimatischen Wasserbilanz. In Bari wird also geerntet, bevor die Wasserbilanzkurve ihr negatives Maximum erreicht hat. In Oslo fällt das Ährenschieben mit dem Höhepunkt dieser Kurve zusammen. Zur Ernte verläuft sie schon im positiven Bereich. In Bari wechselt die Kurve bereits um die Wende März/April in den negativen Bereich hinüber. Dort wird durch die bis Juli zunehmenden hohen Verdunstungs- und abnehmenden Niederschlagswerte der von den Pflanzen aufnehmbare Bodenwasservorrat sehr schnell aufgebraucht. Ab Mitte Juni hält sich die Kurve der klimatischen Wasserbilanz für zwei Monate bei Mittelwerten zwischen —4 und —5 mm, da in dieser Zeit kaum nennenswerte Niederschläge fallen. Dies ist ein Verdunstungsdefezit, das für die meisten Kulturpflanzen zur Vertrocknung oder zur Vegetationsruhe führt. Die sehr hohen täglichen Temperaturwerte und Sonnenscheinstunden können sich (mit Ausnahme der diesem Klima angepaßten Kulturpflanzen, z. B. Citrusfrüchte, Oliven, bei denen sie den Reifeprozeß begünstigen), kaum noch günstig auf das Pflanzenwachstum auswirken.

Einige Grundzüge der Kurven der einzelnen Klimaelemente sowie die Aussagemöglichkeiten, die sich bei einer phänologisch-klimatologischen Betrachtungsweise aus deren zeitlichen und kausalen Zusammenwirken ergeben, seien noch verfolgt. Die Kurven der Temperatur und in abgeschwächtem Maße auch diejenigen der Sonnenscheindauer zeigen von Nord nach Süd zunehmende Pentadenmittel. Daraus ist jedoch nicht ohne weiteres eine agrarklimatologische Begünstigung bzw. Benachteiligung bestimmter Stationen abzuleiten. Die phänologisch-klimatologische Betrachtungsweise ermöglicht dagegen die klimatologische Beurteilung der Anbaubedingungen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in unterschiedlichen Klimabereichen.

Tab. 10

Mittelwerte für Sonnenscheindauer, Temperatur und Niederschlag zu 4 phänologischen Phasen und 3 Zeitspannen (a, b, c) für die Stationen Bari (bzw. Rom) und Oslo

Phänologische Phasen bzw. die durch sie begrenzten Zeitspannen	Daten des Phasenbeginns bzw. Länge der Zeitspannen (Tage)		Tagesmittel der Temperatur (° C)		mittlere tägliche Sonnenscheindauer (Stunden)		mittlere tägliche Niederschlagssumme (mm)	
	Bari/Rom	Oslo	Bari	Oslo	Rom	Oslo	Bari	Oslo
Sommergetreide-Aussaat	14. 2./16. 2.	13.5	10.4	11.7*	4.2	7.8*	1.3*	0.7
a Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben	74/78*	45	12.2	13.7*	5.7	8.4*	1.4	1.9*
Winterweizen-Ährenschieben	29. 4./5. 5.	27.6	16.3	16.9*	7.7*	7.0	0.5	2.4*
b Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte	44/42	60*	19.1*	16.9	8.9*	7.0	0.9	3.2*
Winterweizen-Ernte	12. 6./16. 6.	28.8	22.1*	15.6	10.9*	6.0	1.3	3.3*
c Winterweizen-Ernte bis -Aussaat	158/145*	6	21.7*	15.1	7.5*	6.0	1.3	2.6*
Winterweizen-Aussaat	17. 11./8. 11.	1.9	13.3	14.6*	4.8	6.3*	3.0*	2.6

Am Beispiel von zwei Stationen — eine im äußersten Süden, die andere im äußersten Norden des Bearbeitungsraumes gelegen — soll diese Betrachtungsweise für die beiden Hauptwachstumsabschnitte des Getreides veranschaulicht werden. Die Tabelle 10 enthält für Bari (bzw. für Rom, da für Bari keine Sonnenscheindaten vorliegen) und Oslo Mittelwerte der Temperatur, der Sonnenscheindauer und des Niederschlags zum Eintrittstermin von 4 phänologischen Phasen (5tägige Mittel; 2 Tage vor und 2 Tage nach dem langjährigen mittleren Phasenbeginn) und für die dazwischen liegenden Zeitspannen a, b, c. Die Höchstwerte jedes einzelnen Wertepaares wurden gekennzeichnet. Von der Sommergetreide-Aussaat bis zum Winterweizen-Ährenschieben (a) ist Oslo gegenüber Bari begünstigt. Während dieser Zeitspanne, die in Nordeuropa weitaus später im Kalenderjahr liegt, sind in Oslo die Mittelwerte aller drei Klimaelemente höher. Im Wachstumsabschnitt b, Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte, sind die Verhältnisse umgekehrt. Zu dieser Zeit ist Bari (bzw. Rom) gegenüber Oslo begünstigt. In Oslo liegen die Temperaturen bis kurz nach dem Ährenschieben und die Sonnenscheinwerte bis kurz vor dem Ährenschieben im allgemeinen höher und erst danach niedriger als in Bari (bzw. Rom). Die durchschnittlichen täglichen Niederschlagssummen sind, abgesehen von der Zeit um die Sommergetreide- und Winterweizen-Aussaat, während der ganzen Vegetationsperiode in Oslo höher als in Bari. In der Zeitspanne a ist der Differenzbetrag von nur 0,5 mm allerdings sehr klein. Auch in der relativen Zeitspannendauer ist ein Ausdruck der wechselnden klimatischen Begünstigung zu sehen. Höhere Mittelwerte der Temperatur- und Sonnenscheindauer entsprechen einer schnelleren und niedrigere einer langsameren Entwicklung des Winterweizens. Während die ackerbaulich nutzbare Zeit bzw. die Gesamtzeit von der Sommergetreide- bis zur Winterweizen-Aussaat, in Oslo beinahe vollständig ausgenutzt wird (im Mittel nur 6 Resttage), bleibt in Südeuropa nach der Ernte noch eine Restzeit von ca. 150 Tagen.

Markiert man auf den Temperaturkurven (Abb. 14 II) die Schnittpunkte mit den ihnen in der Signatur entsprechenden Linien a und d und liest für die einzelnen Stationen die Werte der Temperaturmittel bei Sommergetreide- und Winterweizen-Aussaat ab, so ergibt sich folgende Gegenüberstellung:

	Temperatur (° C) zur:	
	Sommergetreide-Aussaat	Winterweizen-Aussaat
Bari (Obs.)	10,5	13,5
Toulouse	6,0	10,5
Karlsruhe	7,5	8,5
Oslo	11,5	14,5

Die Tagesmitteltemperatur ist bei diesen 4 Stationen zur Herbst-Aussaat überall um einen zwischen 1,0 und 4,5° C liegenden Betrag höher als zur Frühjahrs-Aussaat. Im Hinblick auf Untersuchungen, die das Ende der Vegetationszeit für Deutschland und insbesondere für Hessen durch die Mitteltemperatur von 8 bis 9° C charakterisiert sehen (86), ist anzunehmen, daß dieser Schwellenwert sich für andere Klimagebiete nicht in gleichem Maße bestätigt, da z. B. von Bari, Toulouse und Oslo die entsprechenden Tagesmitteltemperaturen zwischen 10,5 und 14,5° C liegen. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß sich mit dem Zeitabstand zwischen der als letzte Herbstphase verwendeten Wintergetreide-Aussaat und dem wirklichen Ende der Vegetationszeit, der von den nördlichen Breiten, wo er gewiß sehr gering ist, gegen Süden zunimmt, auch der Temperaturschwellenwert ändern wird. Es bleibt, wie bereits erwähnt, zu untersuchen, ob durch Temperaturextreme der Vegetationsbeginn und das Ende der Vegetationszeit u. U. eindeutiger zu definieren sind.

Die Kurven der potentiellen Evapotranspiration (Abb. 14 III) sind für alle Stationen ähnlich. Ein in der Ordinate verdoppelter Maßstab würde die in der Thornthwaite'schen Formel begründete enge Beziehung zu den jeweiligen Temperaturkurven und zur maximal möglichen Sonnenscheindauer, die nicht mit der hier dargestellten mittleren Sonnenscheindauer identisch ist, besser veranschaulichen. Im Hinblick auf die unmittelbare Vergleichbarkeit wurde hier jedoch für alle in Millimeter angegebenen Elemente bzw. Elementsgruppen ein einheitlicher Ordinatenmaßstab gewählt.

Die Kurven der klimatischen Wasserbilanz (Abb. 14 IV) werden in ihrem Verlauf im wesentlichen durch die benachbarten Kurven der potentiellen Evapotranspiration und des Niederschlags bestimmt. Im Juni/Juli z. B. ist die mittlere potentielle Evapotranspiration in Toulouse und Karlsruhe so gleichartig, daß die beiden Kurven nur schwer zu trennen sind. Im Sommer gibt es aber in Toulouse meistens weniger Niederschläge als in Karlsruhe. Als Folge davon ist die klimatische Wasserbilanz in den Sommermonaten in Toulouse fast immer um etwa 1 mm ungünstiger als in Karlsruhe. Wie bereits näher ausgeführt, bleibt bei der Beurteilung der negativen klimatischen Wasserbilanzen zu bedenken, daß sie zu Beginn der Vegetationszeit weniger kritisch für das Pflanzenwachstum sind als gegen Ende, da zu Beginn der Trockenperioden das Wasserdefizit meist noch durch die infolge winterlicher Niederschlagsüberschüsse im Boden aufgespeicherten Wasservorräte gedeckt werden kann.

3.4.2. Häufigkeit der Niederschlagstage und der niederschlagsfreien Tage

Für die in der Abbildung 15 dargestellten Niederschlagsdaten sei auf die Erläuterungen, die in 3.2.3.1. und 3.3.2. gegeben wurden, verwiesen. Bei der Aufteilung der Niederschlagstage nach verschiedenen Stufen der Niederschlagssumme (Abb. 15 I) wurden am linken und rechten Rand wieder verschiedene Skalen gewählt. Die relativen Häufigkeiten (rechte Skala) einer 14jährigen Periode sind für die Pentaden klimatologisch allerdings schon repräsentativer als für Einzeltage. Die geringsten Niederschlagshäufigkeiten der hier dargestellten 4 Stationen ergaben sich mit unter 10% liegenden Werten im Sommer für Bari. Ab August ist dort bis zur Wende Oktober/November bzw. bis zur Aussaat des Winterweizens eine Häufigkeitszunahme (von 5 auf 50%), vor allem für Tage mit stärkeren Niederschlägen, zu erkennen. In Bergen schwankt in den zwischen Sommergetreide-Aussaat und Winterweizen-Ernte gelegenen Pentaden die Niederschlagshäufigkeit zwischen 40 und 75%. Jeweils an mehr als der Hälfte der Tage mit Niederschlag und während der ackerbaulich nutzbaren Zeit im Durchschnitt an mehr als 40% aller Tage wurden Niederschlagssummen von über 2,5 mm gemessen. Diese norwegische Küstenstation zeichnet sich verständlicherweise in allen Jahreszeiten durch verhältnismäßig zahlreiche und ergiebige Niederschläge sowie längere Niederschlagsperioden aus. Die Apfelblüte fällt mit einem Minimum der Niederschlagshäufigkeit zusammen! Auch z. Z. des Ährenschiebens sind die ergiebigeren Niederschläge verhältnismäßig selten (nur an 25% aller Tage gab es in der 36. Pentade Niederschläge mit Tagessummen über 2,5 mm).

Auf der Darstellung der verschieden langen Niederschlags- und Trockenperioden (Abb. 15 II) sind die Tage mit Niederschlag — vom unteren Rand bis zur punk-

tierten Linie — an der linken Skala und die Tage ohne Niederschlag — vom oberen Rand bis zur punktierten Linie — an der rechten Skala abzulesen. In Bari ist die Wahrscheinlichkeit langer Trockenperioden von Mitte Juni bis Mitte August am größten. In dieser Zeit gab es in der Periode 1947 — 60 pro Pentade höchstens an 10 von insgesamt 70 Tagen Niederschlag; niemals folgten aber mehr als 3 Niederschlagstage aufeinander, während im Durchschnitt knapp 70% der Tage zu mehr als 14 Tage währenden Trockenperioden gehörten. Im Hinblick auf die Grummetwerbung, die im allgemeinen in die ersten Pentaden nach der Winterweizen-Ernte fällt, ist bei De Bilt — ein zwar für die Heubereitung nicht besonders charakteristischer Ort — der verhältnismäßig hohe Anteil mit langen Niederschlagsperioden für eine schnelle Grummettrocknung nicht gerade günstig.

Zur Ergänzung der Abbildung 15 sei hier nochmals auf die Arbeit von Reidat (74) hingewiesen, der für 10 deutsche Stationen sowohl die prozentuale Häufigkeit der Tage mit Niederschlag in den einzelnen Pentaden berechnete als auch die Jahresverteilung niederschlagsarmer und niederschlagsreicher Pentaden darstellte.

3.4.3. Häufigkeit der Frosttage

Alle grundsätzlichen bei den Frosthäufigkeitsdarstellungen (3.2.5.2.) gegebenen Erklärungen sollen, da sie auch für die Abbildung 16 zutreffen, hier nicht wiederholt werden.

Es fällt auf, daß bei Oslo im Gegensatz zu den anderen 3 Auswahlstationen nach dem Beginn der Sommergetreide- und vor dem Beginn der Winterweizen-Aussaat keine Fröste auftraten. Die Häufigkeit der Tage mit Frost beträgt für Toulouse nach der Sommergetreide-Aussaat noch bis 40%. Sogar Frosttage mit Minima unter —6° C, und Frosttage, die zu Frostperioden von über 10 Tagen Dauer gehörten, traten in Karlsruhe und Toulouse nach dem langjährigen mittleren Beginn dieser phänologischen Phase auf. Für diese beiden Stationen ist wiederum zu bemerken, daß ein hoher Prozentsatz der nach der Sommergetreide-Aussaat auftretenden Frosttage sehr hohe, fast ausnahmslos über 15° C liegende Tagesamplituden aufweist. Durch derartige Nachtfröste kann, wie bereits ausgeführt, die sich tagsüber infolge höherer Temperaturen und Sonnenscheindauer schon belebende Pflanzenentwicklung empfindliche Schäden erleiden.

4. Kritische Betrachtung der phänologisch-agrarklimatologischen Datenaufbereitungsmethoden

Zu den im vorhergehenden Abschnitt an Beispielen erläuterten phänologisch-klimatologischen Materialaufbereitungen sollen hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit als Grundlagenmaterial für großräumige und spezielle agrarklimatologische Untersuchungen einige kritische Betrachtungen angestellt werden.

4.1. Phänologische und kalendarische Zeitabschnitte und ihre Verwendbarkeit zur Aufbereitung von Klimadaten

Die landwirtschaftliche Praxis widmete — wie eingangs bereits näher ausgeführt — dem Klima, als einem der wesentlichen Produktionsfaktoren, bisher nicht genügend Aufmerksamkeit. Einen Grund hierfür sieht u. a. auch Jacob (39) darin, „daß die nach der in der Meteorologie üblichen Methode ausgewerteten Witterungsdaten der Praxis selbst wenig sagen können". Hinzu kommt, daß der Wirkungsfaktor Klima erst beim Vergleich verschiedener Anbauzonen stärker ins Gewicht fällt. Solange sich die Landwirtschaft mehr mit engbegrenzten Räumen zu befassen hatte, wurden die Auswirkungen des Klimas als etwas Gegebenes hingenommen. Dies ist bei sehr vielseitigen und weniger auf Marktproduktion eingestellten Betrieben nicht so kritisch, denn die Ungunst der Witterung bzw. des Klimas* wirkt sich niemals auf alle Kulturpflanzen in gleicher Weise aus. Witterungsbedingte Mißernten bzw. klimatisch bedingte relativ geringe Ernteerträge bestimmter Pflanzengruppen können in vielseitigen landwirtschaftlichen Betrieben durch hohe einmalige bzw. relativ hohe ständige Erträge anderer Kulturen ausgeglichen werden, ohne daß diese Betriebe unrentabel werden. Dagegen sind die modernen, mehr spezialisierten Betriebsformen gegenüber Witterungs- und Klimaeinflüssen weit empfindlicher als die früheren. Deshalb muß im Zeitalter der sich auch in der Landwirtschaft immer mehr durchsetzenden Mechanisierung und Spezialisierung eine großräumige Agrarplanung die klimatologischen Verhältnisse in stärkerem Maße berücksichtigen. In der phänologisch-klimatologischen Datenaufbereitung werden Möglichkeiten gesehen, das für derartige Landwirtschaftsplanungen erforderliche agrarklimatologische Grundlagenmaterial zu schaffen, indem für große Landschaftsräume die Klimabedingungen zu bestimmten pflanzlichen Entwicklungsabschnitten, die in einem Großraum keinesfalls überall in dieselben Abschnitte des Kalenderjahres fallen (Abb. 3), vergleichend betrachtet werden. Darüber hinaus erlaubt diese Methode den direkten größenordnungsmäßigen Vergleich landwirtschaftlich entsprechender Klima- und Witterungsverhältnisse.

4.1.1. Methode A und B zur phänologisch-klimatologischen Datenaufbereitung

Für die in 3. beschriebenen phänologisch-klimatologischen Datenaufbereitungen wurden die Zeitspannen im allgemeinen nach langjährigen mittleren phänologischen Phasen (A) und nur ausnahmsweise nach Phasen der einzelnen Vegetationsjahre abgegrenzt (B). Daß dies zwar nicht voll befriedigend, aber bei dem derzeitigen Entwicklungsstand der Phänologie noch unumgänglich und statistisch vertretbar ist, wurde bereits in 2.4. erläutert. Es sei jedoch an dieser Stelle mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß es das Ziel der phänologischen Klimatologie sein muß, meteorologische Beobachtungsdaten der Einzeljahre nach den tatsächlichen in diesen Vegetationsjahren beobachteten Eintrittszeiten der phänologischen Phasen aufzubereiten.

Die Unterschiede von Ort zu Ort der nach der Methode A ermittelten phänologisch-klimatologischen Werte haben andere Ursachen als die Unterschiede von Jahr zu Jahr der nach der Methode B errechneten Werte. In den Mittelwerten von A prägt sich die Gesamtheit aller geographischen, standortsbedingten Gegebenheiten aus, wohingegen die Einzelwerte von B vornehmlich durch den Witterungsablauf in den Einzeljahren bestimmt werden. Die unter B dargestellten Daten der einzelnen Vegetationsjahre sollen als Ergänzung der unter A dargestellten Mittelwerte aufgefaßt werden. Sie sollen daran erinnern, welche witterungs-

---

* K. Keil schreibt im „Handwörterbuch der Meteorologie", Frankfurt a. M. 1950, auf Seite 286:

„Heute versteht man unter Klima die Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen, welche den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgendeiner Stelle der Erdoberfläche und in einem gegebenen Zeitraum charakterisieren. Insofern ist Klima deutlich von Witterung zu unterscheiden, womit man nur eine Phase, einen einzelnen Akt aus der Aufeinanderfolge der Wettererscheinungen bezeichnet, deren gesamter Jahr für Jahr im wesentlichen mehr oder weniger gleichartiger Verlauf das Klima eines Ortes, Landes, Kontinents bildet. Das Klima ist die Gesamtheit der Witterungen, wie sie durchschnittlich in einem längeren Zeitlauf einzutreten pflegt."

bedingte Veränderlichkeit sich hinter der scheinbaren Gleichförmigkeit der phänologisch-klimatologischen Mittelwerte verbergen kann. Diese witterungsbedingte Veränderlichkeit in anderen Klimagebieten zu untersuchen, wäre zwar interessant und notwendig, ist aber z. Z. nur für sehr wenige Orte, für die bereits lange phänologische Beobachtungsreihen vorliegen, möglich.

Die großräumige Agrarplanung muß vor allem die von Ort zu Ort wechselnden Unterschiede der Klimaverhältnisse und damit die nach der Methode A aufbereiteten Daten berücksichtigen. Im Zusammenhang mit Rentabilitätsfragen ist es für sie allerdings nützlich, außerdem die Spanne der an einem Ort in den einzelnen Vegetationsjahren wechselnden Witterungseinflüsse — hier veranschaulicht durch die Beispiele der Aufbereitungsmethode B — abschätzen zu können. Mit diesem Wechsel der Witterungsverhältnisse hat sich also mehr die regionale Agrarplanung zu befassen, da die einzelnen Betriebe zwar den Klimaverhältnissen, aber außerdem bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit den extremen Witterungsverhältnissen angepaßt sein müssen. Welche für die Regionalplanung verwendbaren Ergebnisse bei Anwendung der phänologisch-klimatologischen Arbeitsmethodik erzielt werden können, zeigt Jacob (39) für das Versuchsgut Rengen in der Eifel.

Die auf Grund der einzelnen Vegetationsjahre berechneten phänologisch-klimatologischen Mittelwerte werden für Karlsruhe in den Abbildungen 6, 8 und 9 im Teil B durch die jeweils am weitesten rechts stehenden Säulen repräsentiert. Rein optisch treten im Vergleich zu den entsprechenden Säulen im Teil A keine Unterschiede in Erscheinung. In welchen Größenordnungen sich die Unterschiede der beiden Mittel für die vier deutschen Stationen bewegen, zeigt die Tabelle 2. Sie können für Klimastationen anderer Räume größer oder auch geringer sein und evtl. sogar grundlegende Abweichungen zeigen. Daher kann das in der Voruntersuchung für deutsche Stationen ermittelte Ergebnis nur mit Vorbehalt für den ganzen Bearbeitungsraum verallgemeinert werden.

In der Abbildung 7 wurden für Münster und Karlsruhe die Häufigkeiten bestimmter Temperaturstufen in phänologischen Zeitspannen sowohl nach der Methode A als auch nach der Methode B dargestellt. Für bestimmte Zeitspannen ergeben sich auffallend einheitliche Abweichungen, deren Ausdeutung jedoch noch zu gewagt erscheint.

4.1.2. Veränderlichkeit von Klimasummen in phänologischen und kalendarischen Zeitabschnitten

Auf die größere Aussagekraft der für phänologische Zeitspannen aufbereiteten Klimadaten gegenüber den für einheitliche Kalenderabschnitte zusammengestellten, wurde im Zusammenhang mit großräumigen Landwirtschaftsplanungen bereits verschiedentlich hingewiesen.

Aus der Abbildung 4 war für die französischen und deutschen Stationen festzustellen, daß die Veränderlichkeit der Einzelwerte bei bestimmten phänologischen Zeitabschnitten kleiner war als bei den entsprechenden kalendarischen Zeitabschnitten oder umgekehrt. So hatte es den Anschein, als ob die Klimasummen der Zeitspannen Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte (b) und Winterweizen- bis Sommergetreide-Aussaat (d) ausgeglichener sind als die ihnen zum Vergleich gegenübergestellten Summen entsprechender Kalenderabschnitte (Juni/Juli bzw. November — Februar). Für die Zeit zwischen Winterweizen-Ernte bis -Aussaat (c) bzw. August bis Oktober variieren dagegen die Klimasummen für phänologische Zeitspannen weitaus mehr als diejenigen für Kalendermonate. Entsprechende auffallende Unterschiede waren für die Zeitspanne a bzw. für die Monate März bis Mai nicht zu erkennen.

Es wurde untersucht, ob dieser Eindruck eines mehr optischen Vergleichs sich auch zahlenmäßig bestätigt. Dazu wurden die phänologischen und kalendarischen Einzelwerte der Klimasummen und der Zeitspannendauer mit Hilfe des Pearson'schen Variabilitätskoeffizienten getestet. Dieser berücksichtigt die Größe der zu vergleichenden Werte und gibt die Streuung in Prozent des arithmetischen Mittels an. Wenn das

arithmetische Mittel $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$ und die

Streuung $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$, so ist der

Variabilitätskoeffizient $V = \frac{100 \cdot s}{\bar{X}}$.

In der Tabelle 11 sind aus den nebeneinander stehenden Wertepaaren die Pearson'schen Variabilitätskoeffizienten für die vier phänologischen und die ihnen zugeordneten kalendarischen Zeitspannen gesondert für die Dauer der Zeitspanne und die einzelnen Klimaelemente zu ersehen.

Außerdem sind die vornehmlich standortsbedingten Streuungen der nach der Methode A aufbereiteten und die mehr durch den Witterungsablauf in den einzelnen Jahren bedingten Streuungen der nach der Methode B aufbereiteten Daten in den senkrechten Paaren der Variabilitätskoeffizienten zu vergleichen.

Für die Zeitspanne Winterweizen-Ernte bis -Aussaat (c) sind die Werte des Variabilitätskoeffizienten bei allen drei Klimaelementen weitaus größer als die der kalendarischen Zeitspanne, bei der Temperatur sogar mehr als doppelt so groß. Außerdem zeichnet sich die Zeitspanne c im Vergleich zu den anderen durch die höchsten Variabilitätskoeffizienten aus. Die Variabilitätskoeffizienten des Niederschlags betragen für A und B in dieser phänologischen Zeitspanne 47,8 und 42,0%. Hohe Werte sind allerdings beim Niederschlag klimatologisch weniger erstaunlich als bei den anderen Klimafaktoren. Die Streuung der Temperatursummen beträgt in dieser Zeit in Deutschland von Jahr zu Jahr nur 14,6%, im Raum Frankreich/Deutschland dagegen 33,6% vom Mittelwert.

Bei den drei übrigen Zeitspannen ist abgesehen von drei Fällen die Variabilität der Summen der einzelnen Klimaelemente phänologischer Zeitspannen geringer als die der kalendarischen. Die Ausnahmen betreffen den Niederschlag (a: A u. B; b: B), der sich ohnehin durch sehr hohe Variabilitätskoeffizienten auszeichnet. Es ist sogar besonders zu beachten, daß der Niederschlag trotz hoher Eigenvariabilität meistens dem für andere Klimaelemente des jeweiligen Zeitabschnittes festgestellten relativen Verhältnis — phänologischer zu kalendarischer Zeitspanne — entspricht. Es ist zu vermuten, daß sich die Werte der Variabilitätskoeffizienten bei einer mehr als 14jährigen Aufbereitungsperiode im allgemeinen, sicherlich aber besonders beim Niederschlag, etwas verringern.

Mäde (62) stellte fest, „daß die Streuung der Niederschlagshöhe bei einer Abgrenzung der Periode durch phänologische Phasen in der gleichen Größenordnung liegt, wie bei der Abgrenzung nach Monaten des bürgerlichen Jahres. Die phänologisch-klimatologischen Niederschlagskarten können aus diesem Grunde mit

Tab. 11

Pearson'scher Variabilitätskoeffizient für Dauer und Klimasummen phänologischer Zeitspannen (a, b, c, d)
A 25 französische und 4 deutsche Stationen (nach langjährigen phänologischen Mittelwerten)
B Mittel von 4 deutschen Stationen (nach phänologischen Daten der Einzeljahre)

Phänologische bzw. kalendarische Zeitspanne		Variabilitätskoeffizient (Streuung in % vom arithmet. Mittel) für						
		Dauer phänol. Zeitsp.	Temperatur		Sonnenschein		Niederschlag	
			phänol. Zeitsp.	kalend. Zeitsp.	phänol. Zeitsp.	kalend. Zeitsp.	phänol. Zeitsp.	kalend. Zeitsp.
a Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben bzw. März bis Mai	A	12,5	13,6	16,9	11,0	11,8	31,9	25,6
	B	8,3	6,3	12,6	10,6	9,8	29,0	27,6
b Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte bzw. Juni und Juli	A	8,9	10,9	12,8	10,0	17,6	28,6	30,0
	B	9,4	5,4	6,5	12,2	18,1	38,4	32,8
c Winterweizen-Ernte bis -Aussaat bzw. August bis Oktober	A	21,4	33,6	14,5	39,9	16,7	47,8	35,6
	B	8,9	14,6	6,5	27,9	20,8	40,2	39,1
d Winterweizen- bis Sommergetreide-Aussaat bzw. November bis Februar	A	17,9	23,6	39,9	31,7	38,7	32,7	43,1
	B		nicht berechnet					

den mittleren Niederschlagskarten der üblichen Klimatologien unmittelbar verglichen werden. Eine höhere Genauigkeit wird nicht erreicht." Dieser Schluß mag wohl für einen speziellen Ort (für Halle und die Periode 1900 — 1939 wurden die Streuungsvergleiche angestellt) oder einen engen Raum zutreffen, er kann jedoch nicht, wie die Tabelle 11 beweist, auf andere Klimafaktoren, andere Zeitspannen und schon gar nicht auf große Landschaftsräume übertragen werden.

Der aus der Abbildung 4 gewonnene Eindruck wird also durch die Tabelle 11 bestätigt. Außerdem kann er durch die größenordnungsmäßige Abschätzung der relativen Variabilitätsdifferenzen — phänologische minus kalendarische Zeitspanne — noch ergänzt werden. Diese Differenzen sind bei einzelnen Klimaelementen auch in der Zeitspanne a (Temperatur A: —3,3%, B: —6,3%) und b (Sonnenschein A: —7,6%, B: —5,9%) noch recht bedeutsam sein. Der Winterweizen erhält also z. B. zwischen Ährenschieben und Ernte sowohl in verschiedenen Anbaugebieten als auch von Jahr zu Jahr eine weitaus konstantere Summe der Sonnenscheindauer als sie für den gleichen Bereich bzw. für die gleiche Periode durch die festen Kalenderabschnitte Juni und Juli erfaßt werden könnte.

Ob daraus nun zu folgern ist, daß der Winterweizen für diesen Entwicklungsabschnitt eine ziemlich festbegrenzte Summe an Sonnenschein beansprucht, müßte zur quantitativen Erfassung der meteorologischen Wirkungsfaktoren noch untersucht werden. Entsprechendes würde für den Abschnitt von der Sommergetreide-Aussaat bis zum Winterweizen-Ährenschieben für die Temperatursumme gelten. Dies wäre verständlich, da die Pflanze in ihrer Entwicklung den wechselnden Einfluß einzelner Klimafaktoren nicht nur durch den Einfluß anderer, sondern vor allem auch durch ein langsameres oder schnelleres Wachstum, d. h. durch eine sowohl in ihrer Länge als auch in ihrem Verhältnis zum Kalenderjahr veränderliche Wachstumszeit, ausgleichen kann.

Aus diesem Grunde sollen auch die Variabilitätskoeffizienten für die Länge der Zeitspannen in diese vergleichende Betrachtung einbezogen werden. Die der phänologischen Zeitspannen stehen in der ersten Spalte. Die kalendarischen Zeitspannen sind in allen zu vergleichenden Zeitabschnitten festbegrenzt (Variabilitätskoeffizient = 0%). In die Variabilitätskoeffizienten der Klimasummen kalendarischer Zeitspannen geht also nur die mittlere regionale bzw. die witterungsbedingte Streuung der Klimafaktoren ein. Bei den Variabilitätskoeffizienten der Klimasummen phänologischer Zeitspannen wirkt sich dagegen außerdem noch die Veränderlichkeit der Länge der Zeitspanne aus. Sie beträgt zwischen 8 und 21% und wird in 4.1.3. eingehender betrachtet. Das Gewicht, mit dem die Veränderlichkeit der Klimafaktoren und die der Dauer phänologischer Zeitspannen in die einzelnen Variabilitätskoeffizienten eingeht, läßt sich nicht ohne weiteres berechnen und kann daher nur ganz grob abgeschätzt werden. Der Jahresgang der Streuung einzelner Klimaelemente an bestimmten Stationen könnte nur durch langwierige Rechenoperationen ermittelt werden. Danach wäre auch die regionale bzw. die witterungsbedingte Veränderlichkeit zu berechnen. Für diese Abschätzung sollen jedoch die für die einzelnen Monatsgruppen berechneten Variabilitätskoeffizienten als ein Annäherungsmaß für die regionale bzw. witterungsmäßige Veränderlichkeit der Klimafaktoren in den betrachteten Jahresabschnitten genügen.

Wenn auch nicht anzunehmen ist, daß sich die Variabilitätskoeffizienten der Klimafaktoren und Dauer phänologischer Zeitspannen addieren, so ist es doch zumindest sehr bedeutungsvoll, daß nur bei der Herbstzeitspanne für die Klimasummen der sehr veränderlichen phänologischen Zeitabschnitte höhere, sonst aber vor allem für Temperatur und Sonnenscheindauer erheblich niedrigere Gesamtvariabilitätskoeffizienten errechnet wurden als für die festen kalendarischen Zeitabschnitte. Hierin ist auch ein Beweis für die Vorteile zu sehen, die die phänologisch-klimatologischen Datenaufbereitung gegenüber der herkömmlichen kalendarischen Klimadatenaufbereitung bietet. Dies spricht außerdem für die Bedeutung der Pflanze als „Registriergerät". Dieses „Gerät" registriert nicht nur, wie die meisten klimatologischen Instrumente einen bestimmten Klimafaktor, sondern die Gesamtheit aller sich gegenseitig beeinflussenden Umwelt- und damit auch Klimafaktoren. Diesem Gesamteinfluß paßt sie sich in ihrer Entwicklung an und diese Anpassung äußert sich wiederum u. a. in unterschiedlichem Ent-

wicklungsrhythmus und -tempo, in mehr oder weniger ausgeprägtem vegetativem oder generativem Wachstum, das u. a. durch die Phänologie, Phänometrie und die Erträge meßbar ist.

Hieraus ergeben sich weitere, z. Z. noch nicht zu übersehende Anwendungsmöglichkeiten einer mehr quantitativ ausgerichteten phänologischen Klimatologie. Die Pflanzenentwicklung folgt bekanntlich in den einzelnen Entwicklungsabschnitten unterschiedlichen Gesetzen. Im Frühjahr wird der Entwicklungsgang vorwiegend von der Temperatur und allmählich zunehmend von der Strahlung beeinflußt. Im Sommer und Herbst wirkt auch der Niederschlag bzw. der Bodenwasservorrat in zunehmendem Maße auf die Pflanzenentwicklung ein. Für die quantitative phänologische Klimatologie müssen aber die Möglichkeiten und Grenzen der phänologischen, der klimatologischen und der phänologisch-klimatologischen Beobachtungs- und Arbeitsmethoden erst noch gründlich untersucht werden.

4.1.3. Phänologische Phasen und Zeitspannen, ihre Abgrenzung und Veränderlichkeit

Wie in 2.4. dargelegt wurde, mußten alle phänologischen Phasen, die bis jetzt für den Bearbeitungsraum im langjährigen Mittel vorlagen, zu dieser Untersuchung herangezogen werden, um das Vegetationsjahr in die wichtigsten landwirtschaftlichen Zeitabschnitte zu unterteilen. Die grundsätzlichen Verschiedenheiten der verwendeten Phasen sollen nun kurz diskutiert werden.

Bis auf eine Phase, die Apfelblüte, handelt es sich um Getreidephasen. Die Apfelblüte und das Ährenschieben sind echte pflanzliche Entwicklungsstadien. Der Erntetermin, der zeitlich zwar weitgehend dem Termin der Vollreife entspricht, hängt nicht nur vom Entwicklungsstand der Pflanzen, sondern auch von betriebstechnischen Bedingungen ab. Die zeitliche Entsprechung von Vollreife und Ernte ist heute nicht mehr im gleichen Maße gegeben, wie in früheren Jahren, da bei der Ernte mit Mähdreschern der Termin außer vom Reifestadium noch mehr als bei früheren Erntemethoden von anderen Faktoren (z. T. Witterungsfaktoren) bestimmt wird. Die verwendeten Erntedaten sind aus einer Zeit gewonnen, in der die Mähdrescher noch keine wesentliche Rolle spielten. Die Aussaattermine für das Sommer- und Wintergetreide werden zwar weitgehend den Witterungs- und Bodenverhältnissen angepaßt, aber sind außerdem in starkem Maße von betrieblichen Gesichtspunkten abhängig. Auch bleibt zu beachten, daß es sich bei dem Winterweizen um eine Kulturpflanzenart und bei dem Sommergetreide um eine Kulturpflanzengruppe handelt. Diese beiden Aussaatphasen im Herbst und im Frühjahr wurden, da günstigere Phasen fehlen, auch zu dem Beginn und Ende der winterlichen Vegetationsruhe in eine gewisse Beziehung gesetzt. Der Beginn der tatsächlichen Vegetationsruhe, die für die verschiedenen Kulturpflanzen mehr oder weniger schwankt, liegt im Herbst nach der Winterweizen-Aussaat und ihr Ende im Frühjahr vor der Sommergetreide-Aussaat.

Die Apfelblüte, die zwar zu den Getreidephasen keine direkten pflanzenphysiologischen Beziehungen hat, wurde gewählt, um die Frühjahrszeitspanne zeitlich zu unterteilen. Vor allem für den Obst- und Gemüsebau ist sie eine wichtige Zeitmarke. In Ermangelung weiterer geeigneter phänologischer Phasen wurden die Übergangs- und Winterzeitspannen gedrittelt und vor bzw. nach der Apfelblüte und Winterweizen-Ernte 1 oder 2 Dekaden ausgewählt, um den kurzzeitigen Wechsel der Klimaeinflüsse in landwirtschaftlich bedeutungsvollen kürzeren vergleichbaren Zeiteinheiten zu erfassen.

Die 4 Hauptzeitspannen zeichnen sich hinsichtlich der aufbereiteten Klimaelemente und ihrer Dauer durch verschiedene Variabilitätskoeffizienten aus. Nach den aus der Tabelle 11 zu entnehmenden Variabilitätskoeffizienten ergibt sich für die phänologischen Zeitspannen als Reihenfolge:

	Dauer	Mittel der drei Klimaelemente
b Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte	8,9	16,5
a Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben	12,5	18,8
d Winterweizen- bis Sommergetreide-Aussaat	17,9	29,7
c Winterweizen-Ernte bis -Aussaat	21,4	40,4

Es ist bezeichnend, daß die niedrigsten Werte für die Zeitspanne b berechnet wurden, die durch das Ährenschieben und die — etwa der Reife entsprechenden — Ernte, d. h. durch zwei aufeinanderfolgende Entwicklungsstadien derselben Pflanzenart abgegrenzt wird. Die übrigen Zeitspannen sind nur noch z. T. oder gar nicht durch pflanzliche Entwicklungsstadien, sondern mehr durch betriebstechnisch-, witterungs- und durch den Menschen bedingte Ereignisse, z. T. sogar in bezug auf verschiedene Kulturpflanzenarten oder -gruppen, definiert. Es sei dahingestellt, ob der Grund für die bei ihnen höheren Werte der Variabilitätskoeffizienten in der Art der zur Abgrenzung herangezogenen Phasen liegt. Jedenfalls zeichnet sich die durch die Ernte und nächstjährige Aussaat des Winterweizens abgegrenzte Zeitspanne durch die höchste Variabilität aus. Sie ist kein Wachstumsabschnitt, sondern eine phänologische Restzeit, die gemäß den regional unterschiedlichen Klima- und Betriebsverhältnissen in sich schon sehr veränderlich ist. Dort wo diese Zeit sehr lang ist, wäre es wünschenswert, sie zeitlich zu unterteilen, um die in Südeuropa in dieser Zeitspanne sehr schnell und stark wechselnden Klimaverhältnisse im Zusammenhang mit landwirtschaftlichen Anbaumöglichkeiten eingehender zu untersuchen.

Weiterhin wurden die von verschiedenen Autoren (60, 80, 82) auch für andere Stationen, Perioden und phänologische Zeitspannen berechneten Klimasummen und Zeiten mit Hilfe des Pearson'schen Variabilitätsfaktors getestet (Tab. 12). Dadurch sollte festgestellt werden, inwieweit die hier ermittelten Veränderlichkeiten sich größenordnungsgemäß für andere Gebiete, Perioden und Zeitspannen bestätigen. In den einzelnen Spalten stehen rechts die vornehmlich durch regionale Unterschiede (A), links die durch unterschiedliche Witterung in den einzelnen Vegetationsjahren (B) bedingten Variabilitätskoeffizienten. Dieser Vergleich, der hier nur für die Zeitspannen Apfelblüte bis Winterroggen-Blüte (bzw. bis Winterroggen-Ernte) und von der Winterroggen-Blüte bis -Ernte durchgeführt wurde, könnte für die von Schnelle (82) und Schneider (80) bearbeiteten 17 europäischen bzw. 11 süddeutschen Stationen noch auf andere Zeitspannen bzw. auf Temperaturmittel ausgedehnt werden.

Die Zeit von der Apfel- bis zur Winterroggen-Blüte zeigt für die deutschen Stationen in der Aufbereitung A sehr hohe Variabilitätskoeffizienten, die vermutlich in der biologisch uneinheitlichen Zeitspannendefinition begründet sind. Der unterschiedliche Rhythmus von Obst- und Getreidephasen ist u. a. auch ein Ausdruck der unterschiedlichen Wachstumssphären. Z. B. reagieren die einzelnen Kulturpflanzengruppen infolge eines verschieden hohen Wurzelhorizontes auf dieselben Witterungs- oder Klimaeinflüsse durch einen sehr abweichenden Wachstumsrhythmus, der bei mehrjährigen Pflanzen auch von der Vorjahreswitterung beeinflußt

Tab. 12
Pearson'scher Variabilitätskoeffizient für Dauer und Klimasummen phänologischer Zeitspannen
A für europäische Stationsgruppen nach langjährigen phänologischen Mitteln
B für deutsche Einzelstationen nach phänologischen Daten der Einzeljahre

Zeitspanne	Stationsgruppen bzw. Stationen	Periode u. Quelle	Variabilitätskoeffizient (Streuung in % vom arithm. Mittel) für: Dauer	Temperatur	Sonnenschein	Niederschlag
Sommergetreide- (bzw. nur Hafer-) Aussaat bis Winterweizen-Ährenschieben	A: 25 französische und 4 deutsche Stationen	1947-1960	12,5	13,6	11,0	31,9
	B: Hamburg		8,3	7,8	10,6	35,8
	Münster		8,5	5,4	9,7	26,0
	Aachen		8,6	4,7	8,2	27,1
	Karlsruhe		7,7	7,2	13,7	27,3
Apfelblüte bis Winterroggen-Blüte (bzw. -Ernte bei Schnelle)	A: 17 europäische Stationen	1930-1939 (82)	12,3	10,6	11,8	46,4
	4 deutsche Stationen		19,3	15,0	21,8	48,9
	B: Hamburg	1947-1960	16,1	15,8	19,5	39,0
	Münster		17,6	10,9	22,1	50,3
	Aachen		19,2	14,6	21,7	41,6
	Karlsruhe		20,2	14,3	25,6	43,9
	Halle	1894-1939 ohne 1937 (61)	28,3			
Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte	A: 25 französische und 4 deutsche Stationen	1947-1960	8,9	10,9	10,0	28,6
	B: Hamburg		11,0	6,5	10,7	42,6
	Münster		9,1	5,8	12,6	39,1
	Aachen		8,5	5,1	12,6	29,5
	Karlsruhe		9,1	4,2	12,8	42,4
Winterroggen-Blüte bis -Ernte	A: 17 europäische Stationen	1930-1939 (82)	11,2	8,6	12,3	46,2
	11 süddeutsche Stationen	1936-1951 ohne 1945 (80)	4,7	4,1		
	4 deutsche Stationen		9,1	8,3	17,8	37,0
	B: Hamburg	1947-1960	11,4	6,7	13,6	38,6
	Münster		8,5	5,2	18,7	47,1
	Aachen		7,9	8,8	20,7	23,3
	Karlsruhe		9,4	7,2	12,9	39,5
	Halle	1894-1939 ohne 1937 (61)	14,6			
	München	1936-1951 ohne 1945 (80) * ohne 1936 ** ohne 1946	10,4	8,0		
	Darmstadt*		9,5	8,2		
	Augsburg		9,1	5,0		
	Nürnberg**		7,2	5,5		
	Oberstdorf		9,9	8,6		
	Bad Tölz		11,1	9,7		
	Karlsruhe		9,1	5,7		
	Bamberg		7,5	4,8		
	Hüll (Kr. Mainburg)		8,5	5,4		
	Hohenpeißenberg		13,2	9,6		
	Geisenheim		11,0	8,9		
Winterweizen-Ernte bis -Aussaat	A: 25 französische und 4 deutsche Stationen	1947-1960	21,4	33,6	39,9	47,8
	B: Hamburg		9,1	14,2	25,9	34,9
	Münster		11,5	16,9	34,0	43,5
	Aachen		9,5	16,4	28,9	37,7
	Karlsruhe		5,6	10,9	22,7	44,5

wird. — Grünhagen (33) fand z. B. zwischen phänologischen Phasenverschiebungen (Blüte/Laubfall) und den Frühjahrsniederschlägen sehr enge Beziehungen. Durch Untersuchung langer phänologischer Beobachtungsreihen in Mecklenburg, im Weserbergland, im Rheingau und in Südtirol errechnete er an den einzelnen Orten unterschiedliche Mittelwerte der Phasenverschiebung und zieht daraus Schlüsse über das Zusammenwirken klimatologischer und edaphischer Faktoren. — Die beiden Zeitspannen Winterweizen-Ährenschieben bis -Ernte und Winterroggen-Blüte bis -Ernte, die also Wachstumsabschnitte einer bestimmten Pflanzenart darstellen, liegen zeitlich und auch in den Werten ihrer Variabilitätskoeffizienten sehr ähnlich. Für die Temperatursumme beträgt die Streuung etwa 5 — 10% und für die Dauer etwa 7 — 15% vom Mittelwert.

4.2. Phänologisch-klimatologische Methoden der Datenaufbereitung

Die Methoden der Datenaufbereitung sollen hier zusammengefaßt und ihre Grenzen und Ausbaumöglichkeiten im Hinblick auf die großräumige Agrarklimatologie kurz umrissen werden.

4.2.1. Phasen und Zeitspannen zur agrarklimatologischen Datenaufbereitung

Die Ausgangsbasis für alle phänologisch-klimatologischen Untersuchungen sind Eintrittsdaten bestimmter phänologischer Phasen. Phänologische Daten sind als ein Summenmaß für das Zusammenwirken der meteorologischen und biologischen Faktoren (44) oder „vielmehr als ein eigenes Klimaelement spezieller Art zu werten" (6). Der unter 4.1.3. umrissenen Definitionsunterschiede sollte man sich bei der Beurteilung der Zeitspannen und der für sie ermittelten Klimadaten stets bewußt sein. Weniger bedeutungsvoll sind diese Unterschiede beim großräumigen agrarklimatologischen Vergleich, bei dem das Jahr auf Grund markanter Stadien des Pflanzenwuchses und der Landarbeit in Zeitspannen aufgeteilt wird, die für die Landwirtschaft von Wichtigkeit sind.

Solange Daten geeigneter phänologischer Phasen nur in einer sehr begrenzten Auswahl vorliegen, können pflanzenphysiologisch oder arbeitstechnisch sinnvolle meteorologische Schwellenwerte oder bestimmte Witterungskonstellationen zur Zeitspannenbegrenzung gewählt werden. Aber auch hierzu bedarf es umfangreicher klimatologischer Vorarbeiten, die sich vervielfachen, wenn diese Daten nicht nur für einzelne Stationen, sondern für zahlreiche Stationen zur Erstellung einer Karte ermittelt werden müssen. Zur Charakterisierung von Beginn und Ende der Wachstumszeit sind bestimmte, den Hauptanbaugruppen angemessene Schwellenwerte der Temperatur geeignet. Außerdem können Karten des mittleren Unter- bzw. Überschreitens bestimmter Temperaturwerte, evtl. gestaffelt von 5 zu 5° C, zur Klärung der verschiedenen Fragen bei unterschiedlichen Anbauarten herangezogen werden (z. B. Abgrenzung der Anbaugebiete besonders wärmeliebender Kulturpflanzen, Staffelung der Saattermine zur ausgeglichenen Marktbelieferung, Frostschutz, Treibhausbeheizung). Für die zeitliche Begrenzung von Trockenperioden verschiedenen Grades sind wiederum bestimmte Werte der klimatschen Wasserbilanz zu bevorzugen. Linien gleicher Monatsmittel von meteorologischen Elementen, wie sie früher vielfach zur Charakterisierung bestimmter landwirtschaftlicher Stadien herangezogen wurden, können dagegen für Karten größerer Landschaftsräume nicht mehr als sinnvolle Ergänzung angesehen werden. Bezüglich der langjährigen mittleren Eintrittsdaten der wirklichen phänologischen Phasen als auch der meteorologischen Ersatzphasen sind gewisse Vorbehalte anzuraten, da die Eintrittsdaten in den Einzeljahren aus sehr vielen, bis jetzt noch nicht genügend untersuchten und gegeneinander abzugrenzenden Gründen stark streuen.

Bei der Untersuchung spezieller agrarklimotologischer Fragen und vor allem bei der Erfassung der quantitativen Zusammenhänge der meteorologischen Wirkungsfaktoren ist eine einheitliche, der Fragestellung entsprechende Abgrenzung der Zeitabschnitte unerläßlich. Daher fordert M ä d e (62), „nur für die Zeitabschnitte phänologisch-klimatologische Karten zu berechnen, für die auch ein biologischer Einfluß nachgewiesen ist".

Karten der Dauer verschiedener Zeitspannen vermögen die in einem Großraum oft sehr erheblichen Unterschiede der Vegetationszeit und ihrer Unterabschnitte zu zeigen. Einen Eindruck davon kann die in der Abbildung 5 IV dargestellte Getreide-Zeitspanne geben. Von derartigen Zeitspannen kann auf die bei anderen Kulturpflanzen unterschiedlichen Wachstumszeiten nur dann geschlossen werden, wenn die örtlichen Phasenverschiebungen einigermaßen bekannt sind. Karten pflanzlicher Entwicklungsabschnitte erweisen sich nicht nur bei der allgemeinen agrarklimatologischen Charakterisierung großer Landschaftsräume, sondern auch bei sehr speziellen landwirtschaftlichen Fragen als nützlich. Als Beispiel sei die Beziehung zwischen der Zeit von der Winterroggen-Blüte bis -Ernte und der Größe der ausgebildeten Körner (1000 Korngewicht) erwähnt, auf die S c h n e l l e (82) bei einem Vergleich der Anbaugebiete West- und Südosteuropas hingewiesen hat.

Aufschlußreicher als zahlreiche Einzelkarten von landwirtschaftlich bedeutsamen Phasen und Zeitspannen können graphische Darstellungen (z. B. Abb. 3) sein. Selbst für einen großen Raum können Phasen und Zeitspannen sowie ihre räumliche Verschiebung vergleichbar dargestellt werden.

Eine weitere dringende Forderung, für die die Gründe in 4.1. aufgezeigt wurden und der bei weiteren Untersuchungen entsprochen werden soll, ist die gleichzeitige Darstellung der witterungsbedingten Veränderlichkeit von Phasen und Zeitspannen.

4.2.2. Summen und Mittel der Klimaelemente

Die aus Tagesdaten von Temperatur, Sonnenschein, Niederschlag und klimatischer Wasserbilanz für phänologische Zeitspannen berechneten Summen wurden in graphischen Darstellungen (Abb. 4 und 6), Karten (Abb. 5 I-III) und einer Tabelle (Tab. 6) vergleichbar dargestellt und ihre wechselnden regionalen Änderungstendenzen verfolgt.

Die Summen einzelner Klimaelemente der Zeitspanne Winterweizen-Ernte bis -Aussaat erlauben z. B. die Abschätzung der in dieser Restzeit des Vegetationsjahres liegenden klimabedingten und oft nur durch klimaverbessernde Maßnahmen nutzbar zu machenden landwirtschaftlichen Produktionsreserven. Die Summen negativer Tagesmittel der Lufttemperatur in der winterlichen Zeitspanne (Tab. 9) vermitteln einen Eindruck der unterschiedlichen Winterstrenge. Die Niederschlagssummen dieser Zeitspanne erlauben bei Berücksichtigung der jeweiligen Boden- und Verdunstungsverhältnisse eine grobe Abschätzung des den Pflanzen zum Beginn eines jeden Vegetationsjahres zur Verfügung stehenden Bodenwasservorrats. Außerdem bilden Klimaelementssummen reiner Wachstumsabschnitte zusammen mit Werten der Ernteerträge die Ausgangsbasis zu Untersuchungen über die ertragsvariierenden Witterungs- bzw. Klimaeinflüsse. Aus diesem Grunde erstellte M ä d e (62) für Mitteldeutschland Niederschlagssummenkarten von 5 phänologischen Zeitspannen

(Schneeglöckchen-Blüte bis Beginn der Feldarbeiten,
Feldarbeiten bis Fliederblüte,
Fliederblüte bis Winterroggen-Blüte,
Winterroggen-Blüte bis Winterroggen-Ernte,
Winterroggen-Ernte bis Laubverfärbung).

Nur bei einer dieser Zeitspannen (Winterroggen-Blüte bis -Ernte) handelt es sich um einen echten pflanzlichen Wachstumsabschnitt. Auch wurden die Niederschlagswerte zwar nach phänologischen Daten der Einzeljahre aber nur für eine 5jährige Periode aufbereitet. Daher ist es erklärlich, daß der Aussagewert derartiger Karten als Grundlage zur quantitativen Feststellung bestimmter meteorologischer Wirkungsfaktoren, der in jener Untersuchung eingehend behandelt wurde, nicht befriedigt.

Tagesmittel der Witterungsfaktoren in phänologischen Zeitspannen sind für großräumige Vergleiche geeigneter als Summen. Sie wurden z. B. für Frankreich in den Karten der Abbildung 5 V-VII dargestellt. Mittelwerte der klimatischen Wasserbilanz, als Ausdruck des Zusammenwirkens verschiedener meteorologischer und geographischer Faktoren, in je zwei vor und nach Beginn der Winterweizen-Ernte liegenden Dekaden enthält die Tabelle 4. Sie sind auch für andere

Abschnitte des Vegetationsjahres sehr aufschlußreich und vielseitig verwendbar.

Ein Mangel der nach langjährigen phänologischen Mittelwerten aufbereiteten klimatologischen Summen und Mittelwerte ist es, daß aus ihnen die witterungsmäßige Veränderlichkeit der einzelnen Vegetationsjahre nicht zu entnehmen ist. Das unbedingte Ziel der phänologischen Klimatologie muß es daher sein, auch die Werte der Einzeljahre und aus diesen wiederum die Streuung zu berechnen. Das Maß der Streuung müßte für bestimmte, bei allen Aufbereitungsarten einheitliche Grenzen berechnet werden. Danach gilt es, Methoden der direkt vergleichbaren Darstellung von Mittelwerten und Streuungsgrenzwerten für alle Datenaufbereitungen zu entwickeln. Der Aussagewert der phänologisch-klimatologischen Daten könnte dadurch für alle agrarklimatologischen Fragestellungen erhöht und landwirtschaftliche Rentabilitätsbetrachtungen könnten erleichtert werden.

4.2.3. **Häufigkeit der Klimaelemente**

Um dem Mangel der fehlenden Streuungsgrenzen zu begegnen, wurden für eine meist nur begrenzte Stationsauswahl und für verschiedene Klimaelemente und Klimaelementskonstellationen innerhalb phänologischer Zeitspannen Häufigkeitsauszählungen vorgenommen und in verschiedenartigen Häufigkeitsdarstellungen vorgelegt.

Relative Häufigkeitsverteilungen und Summenprozentkurven für die Tageswerte der Temperatur (Abb. 7) und der klimatischen Wasserbilanz (Tab. 5) zeigen sehr markante Unterschiede in den einzelnen Zeitspannen und auch oft erhebliche Unterschiede — in Einzelfällen auch bedeutsame Übereinstimmungen — zwischen den entsprechenden Kurven einzelner Stationen. Da bei diesen Häufigkeitsverteilungen die Gruppen mit geringeren Häufigkeiten nach beliebig zu wählenden Grenzen unberücksichtigt gelassen werden können, ist es möglich, in den jeweiligen Zeitspannen den Hauptbereich der Temperaturen und klimatischen Wasserbilanzwerte an den ausgewählten Stationen miteinander zu vergleichen.

Auszählungen der Tage mit bestimmten täglichen Niederschlagsmengen sowie der Tage, die einer verschieden langen Aufeinanderfolge von Tagen mit bzw. ohne Niederschlag angehören, wurden für Kalendertage (Abb. 12), Pentaden (Abb. 15), je 2 Dekaden vor und nach Beginn der Winterweizen-Ernte (Tab. 4) und für phänologische Zeitspannen (Abb. 8) vorgenommen. Diese Darstellungen können beim Niederschlag zwar keinesfalls als mittlere Häufigkeitsverteilungen aufgefaßt werden, sie vermögen aber doch schon einen Eindruck von dem an den einzelnen Orten und vor allem auch von dem in den einzelnen Zeitspannen unterschiedlichem Niederschlagsregime zu vermitteln.

Die Frosttage wurden sowohl nach der Froststrenge, nach der Temperaturamplitude und nach der Länge der Frostperiode gesondert ausgezählt und für Kalendertage (Abb. 13), Pentaden (Abb. 16) und Zeitspannen bzw. Zeitspannendrittel (Abb. 9) sowie in der Zeit um die Apfelblüte (Tab. 7) dargestellt. Dieses Material ist für die großräumige Beurteilung der Frostgefährdung und zur Planung von Frostschutzmaßnahmen in der vorliegenden Form zu verwenden.

4.3. **Klimadaten für kurze kalendarische Zeitabschnitte**

Die Bedeutung der für gleichbleibende Zeitabschnitte (Jahr, Halbjahr, Monat, Dekade, Pentade) aufbereiteten Klimadaten soll hier mit den Worten von Schneider (80) noch einmal festgehalten werden. „Für die reine Klimatologie und viele ihrer Anwendungsgebiete ist dies die einzig richtige und vergleichbare Darstellungsart. Sobald aber diese Klimawerte für Untersuchungen agrarmeteorologischer, botanischer und landwirtschaftlicher Art verwendet werden, können sie nur einen Notbehelf darstellen, mit dessen Hilfe zwar viele Probleme des Zusammenhangs zwischen Witterung und Ernte gelöst werden können, der aber doch nicht dem tatsächlich auf die Pflanze wirkenden Umweltfaktor Klima entspricht.“ Da es jedoch für viele, vor allem speziellere landwirtschaftliche Fragen erforderlich ist, den Klimaablauf auch innerhalb der einzelnen Zeitspannen zu verfolgen, da er in manchen Gegenden recht wechselhaft sein kann, aber z. Z. kürzere durch phänologische oder andere landwirtschaftlich sinnvolle Daten abgegrenzte Zeitspannen für den Raum Europa nicht einheitlich vorliegen, mußte nach anderen Möglichkeiten gesucht werden. An 2 bzw. 4 Auswahlstationen sollte festgestellt werden, inwieweit Klimadaten für Kalendertage (Abb. 11 — 13) und Pentaden (Abb. 14 — 16) bei gleichzeitiger Darstellung der phänologischen Phasen ein vorläufiger Ersatz sein können. An diesen Darstellungen können auf Grund der eingezeichneten phänologischen Phasen die einzelnen Klimaelemente bzw. der Klimaablauf innerhalb beliebiger Zeitabschnitte, die eine Beziehung zum Pflanzenwachstum oder zu den landwirtschaftlichen Arbeiten haben, an verschiedenen Stationen verfolgt werden. Besonders die Aufbereitung nach Pentaden kann vorerst als ein weitgehend befriedigender Ersatz angesehen werden.

4.4. **Die phänologische Klimatologie als Hilfsmittel für agrarklimatologische Klassifikationen**

Die Beispiele der verschiedenen phänologisch-klimatologischen Datenaufbereitungen haben eine Fülle von Ausbaumöglichkeiten und noch eingehend zu untersuchenden Fragen offen gelassen. Damit die phänologische Klimatologie ein nützliches Hilfsmittel für die Agrarklimatologie wird, müssen einheitliche und sowohl sachlich wie räumlich und zeitlich vielseitig verwendbare Aufbereitungs-, Darstellungs- und Bewertungsmethoden entwickelt werden. Soll dieses Material nicht nur für Meteorologen, sondern auch für weite Interessentenkreise mit Erfolg zu verwenden sein, so muß es klassifiziert und stark schematisiert werden. Diesbezügliche Möglichkeiten werden in 5.1. erörtert.

Ein Fernziel der phänologischen Klimatologie muß es sein, die verschiedenen Sachverhalte, die hier zum größten Teil nur in graphischen Darstellungen und Zahlenwerten einiger Auswahlstationen gebracht werden konnten, auch in Karten darzustellen. Denn nur in Karten können die verschiedenen geographischen Bedingungen eine gleichzeitige, angemessene Beurteilung erfahren, so daß die Stationswerte jeweils im Rahmen ihrer Umgebung, nicht aber von dieser losgelöst, betrachtet werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen zuerst die grundlegenden phänologisch-klimatologischen Zusammenhänge an Auswahlstationen mit möglichst langen phänologischen und klimatologischen Beobachtungsreihen erforscht werden. Auf Grund der dabei gewonnenen grundsätzlichen Erfahrungen sollte es möglich sein, eine Mindeststationsdichte für derartige Karten festzulegen und die räumlich zwischen den Netzstationen liegenden Verhältnisse annäherungsweise zu interpolieren.

In diesem Rahmen wurde lediglich auf Anwendungsmöglichkeiten für die Landwirtschaft hingewiesen. Daß die phänologische Klimatologie darüber hinaus ein Hilfsmittel für allgemeine Klimaklassifikationen (112)

sein kann und auch für viele andere Wissenschaften (Forstwissenschaft, Geographie, Betriebswirtschaft usw.) nutzbringend anzuwenden ist, sei hier zwar am Rande vermerkt aber nicht näher ausgeführt.

5. Die phänologische Klimatologie in ihrer Bedeutung für die Agrargeographie

Nachdem im Vorhergehenden verschiedene phänologisch-klimatologische Arbeitsmethoden erläutert und die Ergebnisse des nach diesen Methoden für die Länder der EWG aufbereiteten Klimamaterials kritisch betrachtet wurden, sollen nunmehr Anwendungsmöglichkeiten für die vergleichende und großräumige Agrargeographie und für agrargeographische Einzeluntersuchungen aufgezeigt werden.

5.1. Ausblick auf eine großräumige agrarklimatologische Gesamtbewertung

Die klimatologische Bewertung großer Agrarräume im Hinblick auf die Anbauwürdigkeit bestimmter Kulturpflanzen ist eine der wichtigsten Aufgaben der Agrarklimatologie. Eine agrarklimatologische Bewertungsskala und nach dieser anzufertigende Karten der klimatologischen Anbauwürdigkeit sind ein Ziel aller dieser Untersuchungen.

Die Landwirtschaft strebt an, von allen den Fachgebieten, auf die sie sich bei der Planung stützen muß, für die zu bearbeitenden Bereiche geeignete Bewertungsunterlagen zu erhalten. Um zu derartigen Unterlagen zu gelangen, muß für jede Disziplin eine überregional anwendbare und gültige Bewertungsskala aufgestellt werden. Die Möglichkeiten und auch die Schwierigkeiten, die sich hinsichtlich einer agrarklimatologischen Bewertungsskala ergeben, sollen hier skizziert werden. Zunächst werden die Varianten, die es dabei zu berücksichtigen gilt, einzeln und dann in ihrem Zusammenwirken betrachtet.

5.1.1. Kulturpflanzen- bzw. Anbaugruppen als Aufbereitungseinheiten

Der Hauptfaktor und zugleich das Ziel einer Klassifizierung der Anbauwürdigkeit ist die Pflanze selbst. Jede Pflanze oder Pflanzengruppe und jede Betriebsform stellt andere Ansprüche an das Klima. Wenn die Witterungs- bzw. Klimaansprüche der Pflanzengruppen in den einzelnen Entwicklungsstadien schon allgemein untersucht und klar in ihren Grenzen definiert wären, könnte bereits eine der vielen Unbekannten in der recht komplexen Formel der agrarklimatologischen Anbauwürdigkeit durch Zahlenwerte oder Zahlenverhältnisse ersetzt werden. — In 5.3.1. werden diesbezügliche Untersuchungen, die einen ganzen Fragenkomplex für sich darstellen, gesondert erwähnt. — Um die Vielzahl der Kulturpflanzenarten und Anbaumöglichkeiten auszuschalten, wäre es wünschenswert, die grundsätzlichen Untersuchungen zunächst auf wenige Hauptgruppen zu beschränken. Diese wenigen Anbaugruppen, mit ihren Hauptarten und den einzuschließenden Unterarten oder Sorten, im Sinne einer agrarklimatologischen Untersuchungsanweisung, müßten im Einvernehmen mit Vertretern der Landwirtschaftswissenschaft ausgesondert und fest umrissen werden. Als Unterlage für eine engräumige Studie kann sie spezieller, für weiträumige Studien muß sie dagegen allgemeiner gehalten sein, um den Varianten der einzelnen Kulturpflanzengruppen voll gerecht zu werden. Als Hauptträger dieser Klassifikation sollten Pflanzen einer möglichst weiträumigen Verbreitung gewählt werden. Hierbei ist etwa an folgende Haupteinteilung zu denken:

Getreideanbau
Hackfrucht- und Futteranbau
Grünlandwirtschaft
Gemüseanbau
Obstbau
Weinbau
Sonderkulturen
Forstwirtschaft

Soweit bereits witterungskritische Wachstums- bzw. Bewirtschaftungszeiten bekannt und zeitlich sowie auch quantitativ abgrenzbar sind, sollten sie als Arbeitshinweise in der Aufstellung enthalten sein. Auch alle Anmerkungen über den günstigsten Witterungsverlauf in den einzelnen Zeitabschnitten einschließlich der Zeit der Winterruhe können von Nutzen sein.

5.1.2. Phänologische Anbaubewertung

Ein zweiter und, wie hier bereits wiederholt festgestellt wurde, im europäischen Vegetationsjahr sehr variabler Faktor ist die Zeit. Die Zeiteinheiten müßten zur vergleichenden Betrachtung den pflanzlichen und den betriebswirtschaftlichen Verhältnissen angepaßt werden. Die Möglichkeit, phänologische Beobachtungsphasen und markante meteorologische Schwellenwerte als Zeitmarken zur Abgrenzung von pflanzlich oder betriebswirtschaftlich wichtigen Zeitabschnitten heranzuziehen, wurde bereits diskutiert. Für jede der einzelnen Anbaugruppen müssen Phasen und Zeitspannen ausgewählt werden, die dem jeweiligen Vegetationsablauf, dem Rhythmus des Arbeitskräftebedarfs u. a. m. weitmöglichst entsprechen.

S c h n e l l e (84) schreibt zur Bewertung des phänologischen Jahresablaufs, „daß der gesamte für die Feldarbeiten zur Verfügung stehende Zeitraum (vom Beginn der Feldarbeiten im Frühjahr bis zum Ende im Herbst) noch kein Urteil darüber zuläßt, ob ein bestimmtes Anbaugebiet in allen Vegetationsabschnitten günstig oder ungünstig im landwirtschaftlichen Sinne ist. Erst das genauere Studium des Ablaufs der phänologischen Erscheinungen im Laufe des ganzen Jahres kann hier genaueren Aufschluß geben. . . . Nur durch eine genaue Kenntnis vom Zeitpunkt des durchschnittlichen Eintritts der einzelnen Wachstumsphasen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen läßt sich richtig beurteilen, wie z. B. Temperatur oder Niederschlag auf die Wachstumsgeschwindigkeit der verschiedenen Pflanzenarten einwirken und welche Zeitspanne für die Durchführung der verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten im Laufe des Jahres zur Verfügung stehen. . . . Bei einer Bewertung verschiedener Gebiete nach den phänologischen Verhältnissen, die Anspruch auf eine allgemeine Verwendbarkeit erheben soll, müssen die zahlreichen im Laufe eines Jahres gewonnenen Beobachtungsergebnisse weitgehend zusammengefaßt und in einer möglichst kurzen Charakterisierung wiedergegeben werden . . . . Eine solche Charakterisierung muß Angaben über den Beginn, die Länge und die zeitliche Unterteilung (in Unterperioden) der landwirtschaftlich nutzbaren Zeit . . . und Angaben über die Geschwindigkeit des Jahresablaufs enthalten." Eine diesbezügliche phänologische Klassifizierung verschiedener europäischer Stationen hat S c h n e l l e (90) entworfen, wobei er von den Phasen

Sommerweizen-Aussaat	(Anhaltspunkt für den Beginn der landwirtschaftlich nutzbaren Zeit),
Winterweizen-Ernte	(Termin zur Unterteilung der Gesamtperiode),
Winterweizen-Aussaat	(Anhaltspunkt für das Ende der landwirtschaftlich nutzbaren Zeit)

ausging. Sie kann als auszubauendes und auch im Kartenbild darzustellendes Vorbild angesehen werden. Darüber hinaus muß auch die Zeit der winterlichen Vegetationsruhe in die Klassifizierung einbezogen werden, denn sie kann infolge ihrer Länge und Strenge für die Wirtschaftlichkeit der Betriebe, z. B. durch das Frostrisiko oder bei gärtnerischen Betrieben durch die Beheizung der Glashäuser, von ausschlaggebender Bedeutung sein. Für die Schätzung des gärtnerischen Vermögens wurden für das Gebiet der Bundesrepublik bereits entsprechende Klassifizierungsunterlagen erstellt.

Auch Sauer (76) entwickelt in der Arbeit „Die Milchwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen" eine phänologische Wertigkeitsmethode, nach der er phänogeographische bzw. phytophänologische Gebiete aussondert. Er unterteilt die Zeit vom ersten bis zum letzten Eintrittstag der Wachstumsphasen in fünf gleiche Zeitabschnitte, von denen er jede mit einer bestimmten Punktzahl bewertet. Von sechs phänologischen Phasen wird danach für jede Station die Gesamtpunktzahl berechnet. Durch die Gesamtpunktzahl wurden die Stationen einer der fünf phytophänologischen Gruppen beigeordnet. Von den sechs phänologischen Phasen,

Schneeglöckchen-Blüte,
Hafer-Aussaat,
Apfelblüte,
Winterroggen-Blüte
Winterroggen-Ernte,
Winterroggen-Aussaat,

die mit gleichem Gewicht in die Gesamtpunktzahl eingehen, kennzeichnen 5 Frühjahr und Sommer und nur eine den Herbst. Um die Unterabschnitte der ackerbaulich nutzbaren Zeit in einem besseren, ihrem zeitlichen Verlauf mehr gerecht werdenden Verhältnis in die Gesamtbewertung einzubeziehen, schlägt Schnelle (schriftliche Mitteilung) vor, nur die Phasen Hafer-Aussaat, Apfelblüte, Winterroggen-Ernte und Winterroggen-Aussaat für die Gesamtbewertung zu verwenden. Zur überregionalen phänologischen Bewertung scheint diese Methode in der derzeitigen Form wenig geeignet, da die in einem Großraum auftretenden Unterschiede in den einzelnen Abschnitten des Vegetationsjahres durch die Gesamtbewertung nicht genügend herausgestellt, sondern eher abgeschwächt werden.

Walter (108) läßt dagegen bei der Charakterisierung des Klimas auf Grund phänologischer Karten die einzelnen Bewertungsziffern:

Frostdauer	
Frühjahrsbeginn	(Apfelblüte)
Frühsommer	(Winterroggen-Blüte)
Hochsommer	(Winterroggen-Ernte)
Frühherbst	(Fruchtreife der Roßkastanie)

nebeneinanderstehen, so daß die im Laufe des Jahres wechselnde Begünstigung oder Benachteiligung abzulesen ist.

Ein nach diesem oder einem ähnlichen Prinzip aufgestelltes Bewertungsschema, das den Beginn der phänologischen Leitphase sowie die Länge der wichtigsten Vegetationsabschnitte erkennen läßt (83, 84, 90), sollte für großräumige Beurteilungen eher geeignet sein, da durch eine einzige Zahl kaum eine voll befriedigende Bewertung auszudrücken ist. Die Karte „Naturräumliche Gliederung im mittleren Europa auf Grund phänologischer Unterlagen" von Schnelle (92) ist ein Versuch der kartographischen Darstellung einer entsprechenden großräumigen Bewertung. Diese Karte enthält den Beginn der Apfelblüte als Leitphase für den Frühjahrsbeginn und die Zeitspanne Apfelblüte bis Winterroggen-Ernte. Hierauf wäre aufzubauen und die erste Hälfte des Vegetationsjahres durch Angaben über den zweiten Teil des Vegetationsjahres in geeigneter Weise zu ergänzen.

Für die zur vorliegenden Untersuchung ausgewählten Stationen ist eine phänologische Standortsbewertung — allerdings noch ohne Abstufung — aus der Abbildung 3 herzuleiten. Sie ist z. B. eine wichtige Grundlage zur großräumig-einheitlichen landwirtschaftlichen Preispolitik, da sie erkennen läßt, in welcher zeitlichen Aufeinanderfolge die Ernteprodukte aus den einzelnen Anbaugebieten auf einem gemeinsamen europäischen Markt erscheinen.

Da die für die einzelnen Kulturpflanzengruppen zu fordernden phänologischen Sachverhalte kaum in einer einzigen Karte klar genug darzustellen sind, wäre auf Grund von mehr oder weniger zahlreichen Einzelkarten für jede Pflanzengruppe ein Schema der phänologischen Gesamtbewertung zu entwickeln. Danach könnte für die einzelnen Gruppen die phänologische Gesamtbewertung festgelegt und auch in einer Karte mit mehreren Wertigkeitsstufen dargestellt werden.

5.1.3. Phänologische Klimabewertung

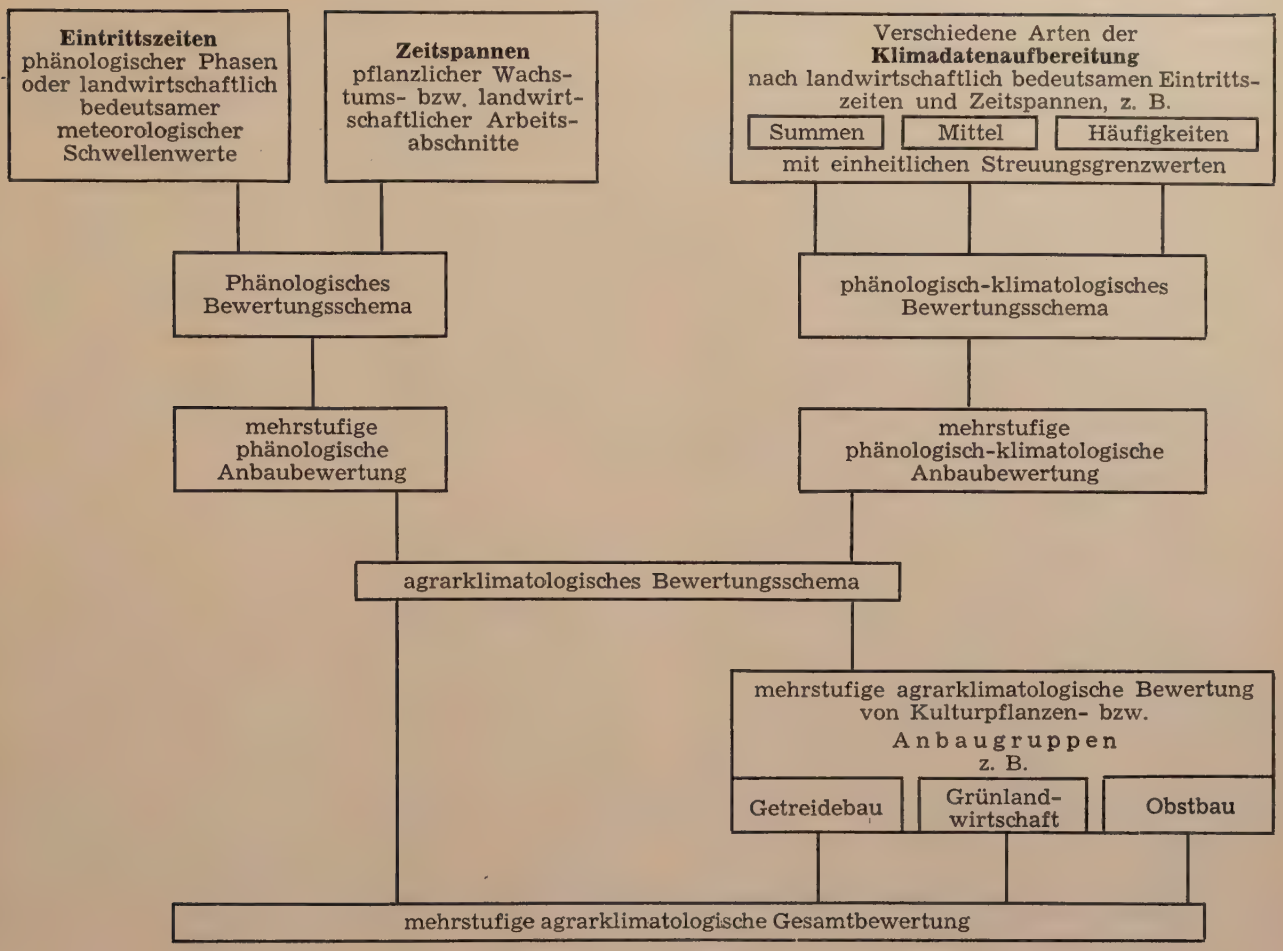
Der dritte Hauptfaktor für eine agrarklimatologische Gesamtbewertung ist die Witterung bzw. das Klima. Witterung und Klima werden wiederum durch das Zusammenwirken der einzelnen meteorologischen Faktoren bestimmt, die es einzeln oder in komplexen Größen zu erfassen gilt. Voraussetzung zur Beurteilung der klimatologischen Gegebenheiten ist ein homogenes, meteorologisches Beobachtungsmaterial, das für jeden einzelnen Kalendertag, für ein dichtes Stationsnetz, für möglichst zahlreiche Klimaelemente (Temperaturmaximum und -minimum, Niederschlagsmenge und -intensität, Strahlungsenergie und -intensität, Luftfeuchtigkeit, Bodenfeuchte, -temperatur und -zustand, Windstärke und -richtung u. a.) und für eine große Anzahl von Jahren in Lochkarten vorliegen soll. Es bleibt zu untersuchen, inwieweit die von v. Aster (3) vereinfachte Wetterwertzahl (102) als Mittel einer langjährigen Reihe für einzelne Kalendertage zu berechnen und für ein diesbezügliches agrarklimatologisches Arbeitsprogramm verwendbar ist.

Diese Beobachtungsdaten müssen nach verschiedenen die jeweilige Anbauart möglichst weitgehend berücksichtigenden phänologisch-klimatologischen Aufbereitungsmethoden zusammengestellt und tabellarisch erfaßt werden. Derartige Aufbereitungsmethoden sollen unter Verweis auf die Zusammenfassung in 4.2. nicht näher erläutert werden. Als Endergebnis sollten für jede Aufbereitungsart die Klimaelemente oder Klimakonstellationen in landwirtschaftlich bedeutsamen Zeitspannen nach einer mehr- (z. B. 5-) stufigen oder gleitenden Wertigkeitsskala der jeweiligen Gruppe von Kulturpflanzen aufgeteilt und kartographisch dargestellt werden. Das würde bedeuten, daß für jede anzubauende Pflanzengruppe eine mehr oder weniger große Anzahl von phänologisch-klimatologischen Einzelkarten gleichmäßig abgestufter Wertigkeiten und danach eine Karte der phänologisch-klimatologischen Gesamtbewertung zu erstellen ist.

5.1.4. Agrarklimatologische Anbaubewertung

Um zu einer agrarklimatologischen Anbaubewertung zu kommen, müßten nach einem weiteren, dritten Schema die phänologischen und phänologisch-klimatologischen Wertigkeiten für jede Gruppe von Kulturpflanzen wieder zu einer mehrstufigen agrarklimatologischen Gesamtbewertung zusammengefaßt werden. Diese wäre für eine große Anzahl von Stationen zu ermitteln. Das unten stehende Schema soll das Arbeitsprogramm, nach dem die Unterlagen für eine agrarklimatologische Gesamtbewertung zu erstellen sind, veranschaulichen.

Tab. 13
Schematische Übersicht der Arbeitsstufen
einer agrarklimatologischen Gesamtbewertung



Als Endziel sollten für die einzelnen Anbaugruppen Karten erstellt werden, aus denen durch Linien gleicher agrarklimatologischer Gesamtbewertung die Räume mit einer mehr oder weniger großen agrarklimatologischen Anbaubegünstigung zu entnehmen sind.

Um dieses Ziel zu erreichen, sind nicht nur methodische Voruntersuchungen, sondern auch zahlreiche Einzelkarten erforderlich. Letztere für einen bestimmten Landschaftsraum in Atlasform zusammenzustellen, ist eine notwendige und erfolgversprechende Aufgabe der Agrarklimatologie. Solange eine räumlich geschlossene und befriedigende Darstellung noch nicht möglich ist, könnten Tabellen oder graphische Darstellungen nach den in diesem Abschnitt entwickelten Gesichtspunkten zusammengestellt werden, um damit der Landwirtschaft schon in näherer Zukunft eine Arbeitsgrundlage zu bieten.

Nicht nur große Landschaftsräume, sondern auch einzelne Anbaugebiete können nach einer phänologisch-klimatologischen Anbaubewertung agrarklimatologisch charakterisiert werden. Eine Neubearbeitung der auf klimatologischen Monatsdaten aufbauenden Agrarklimatographien wäre außerdem anzustreben.

5.2. Landwirtschaftliche Einzelprobleme in ihrer Klimabedingtheit

Während bei der Beschreibung phänologisch-klimatologischer Datenaufbereitungsmethoden in 3. bereits einige Beispiele für deren Anwendbarkeit bei landwirtschaftlichen Fragen eingestreut wurden, sollen nun einige Spezialfragen herausgegriffen und in ihrer Klimabedingtheit kurz erörtert werden.

5.2.1. Landwirtschaftlicher Betrieb und Betriebsrentabilität in Abhängigkeit vom Klima

Der landwirtschaftliche Betrieb muß bei Fortfall zwischenstaatlicher Zollschranken und bei der auch in der Landwirtschaft zunehmenden Technisierung und Spezialisierung mehr als in früheren Zeiten den Naturgegebenheiten und damit nicht zuletzt dem Klima angepaßt werden. Aus diesem Grunde bedarf es für den Gesamtraum der zu einer Wirtschaftsgemeinschaft zusammengeschlossenen Partnerstaaten u. a. auch einer einheitlichen, objektiven agrarklimatologischen Bewertung der Hauptanbausysteme als Grundlage zur Planung einer gemeinsamen, optimal rentablen Agrarstruktur.

J e n s c h stellte fest, daß in Europa die räumliche Differenzierung nach dem Anbaugewicht des Getreides, das in Verbindung mit dem Hackfrucht- und Futterbau weitgehend die Struktur der europäischen Agrarlandschaft bestimmt, auffallend parallel mit der klimatischen Abwandlung verläuft. Dennoch deutet er sie nicht als „klimatisch bedingt", da das Klima den Getreidebau im gesamten europäischen Raum bis zu seiner biologischen oder möglichen Anbaugrenze überall gestattet. „Wenn dieser Anbauumfang nicht voll aus ausgenutzt wird, . . . so liegt das daran, daß mit der Klimaverschlechterung in polarer und vertikaler Richtung . . . ein zunehmendes Mißverhältnis zwischen Aufwand und Er-

trag und . . . ein stetiges Absinken der Rentabilität von den Kern- zu den Grenzräumen hin einhergeht. Diesem Rentabilitätsabfall wird auf natürlichem Wege entgegengewirkt dadurch, daß sich an den kritischen Grenzen immer neue Bodennutzungs- und Betriebssysteme einstellen, mit denen die Rentabilität wieder angehoben wird, bis sie an einer Rentabilitätsgrenze dennoch verschwindet" (42). Die klimatisch bedingten Rentabilitätsabstufungen der einzelnen Betriebsformen könnten in einer agrarklimatologischen Anbaubewertung nur dann miterfaßt werden, wenn bei den verschiedenen Arten der phänologisch-klimatologischen Datenaufbereitung nicht nur Durchschnittswerte, sondern auch die Veränderlichkeit der Einzeljahre durch bestimmte Streuungsgrenzwerte Berücksichtigung finden.

Neben der natürlichen Kompensation des Rentabilitätsabfalls weist J e n s c h auch auf die künstliche Kompensation hin, die einer Dehnung der Spannweite der Rentabilitätskurve und damit einer Anbauerweiterung entspricht. So ist z. B. in der Schweiz, in dem Land, das dem Getreideanbau durch staatliche Regulierungen wohl den stärksten Schutz gewährt, „der Getreideanbau sowohl im Norden als auch in den Alpen über Gebühr weit in Standorte vorgedrungen, die für die Grünlandnutzung prädestiniert sind. . . . Zwangsläufig müßte hier bei . . . Wegfall der national-staatlichen Marktregelung eine rückläufige Bewegung einsetzen." Weiterhin stellt er fest, daß nicht nur aus Gründen der natürlichen Anbaubedingungen, Klima und Boden, sondern auch aus Gründen einer erzwungenen wirtschaftspolitischen Rentabilität die Weinbaugrenzlandschaften in Deutschland eine nördlichere Lage haben als in Frankreich und vermutet, „daß offenbar die Grenzlandschaften am anfälligsten für Rentabilitätsschwankungen sind" (42). Damit in diesen Grenzlandschaften, zu denen auch die europäischen Mittelgebirgsregionen gehören, nach Wegfall staatlicher Regulierungs- und Schutzmaßnahmen noch eine rentable Landwirtschaft erhalten bleibt, ist es erforderlich, jeweils die Betriebsform zu wählen, die sich u. a. auch durch die günstigste agrarklimatologische Bewertung auszeichnet. Dies hat zur Folge, daß die agrarklimatologischen Bewertungsschemen einzelner Anbaugruppen eine einheitliche Wertigkeit aufweisen und damit untereinander direkt vergleichbar sein müssen.

Daher ist es keinesfalls ausreichend, auch nur „einzelne Klimagebiete in Deutschland durch die mittlere Jahrestemperatur abzugrenzen und in folgender Weise nach ihrer landwirtschaftlichen Nutzung zu charakterisieren: 10° Maisklima, 9° Weinklima, 8° Wintergetreideklima, 7° Sommergetreideklima, 6° Futterbauklima . . . Im einzelnen aber wird das Wachstum unserer Kulturpflanzen stärker bestimmt durch die Schwankungen der Temperatur und ihre Extreme, durch die Länge der Wachstums- und Winterzeit sowie durch Schnee- und Frostperioden. Sie bedingen es, daß die Einteilung der Klimagebiete nach der mittleren Jahrestemperatur beim Vergleich entfernterer Gebiete versagt" (75). Ein gewisser Fortschritt ist es dagegen schon, wenn z. B. für Frankreich die für den Maisanbau günstigen Gebiete im wesentlichen durch eine über 18° C liegende Mitteltemperatur der Monate Mai bis September abgegrenzt werden (45) oder wenn neben der Länge der Vegetationszeit auch Monatsmittel verschiedener Klimaelemente zur Charakterisierung der Anbaumöglichkeiten bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen herangezogen werden (23).

Entsprechend der vorgeschlagenen agrarklimatologischen Anbaubewertung sollten zur Klärung der Anbauwürdigkeit einzelner Kulturpflanzengruppen sowohl deren hauptsächliche Klimaansprüche bekannt bzw. durch Methoden der quantitativen phänologischen Klimatologie zu ermitteln sein als auch für die fraglichen Standorte die phänologisch-klimatologischen Gegebenheiten in der ganzen Vegetationszeit und ihren Teilabschnitten untersucht werden.

Neben der gesamtklimatologischen Beurteilung für die einzelnen landwirtschaftlichen Betriebsformen können jedoch spezielle phänologisch-klimatologische Daten auch zur Klärung von Einzelfragen eines bestimmten Anbausystems herangezogen werden, was nur an einem Beispiel erwähnt sei. Für die Zeit nach der Getreideernte geben prozentuale Häufigkeiten der Niederschlagstage oder mittlere klimatische Wasserbilanzwerte einen Anhalt dafür, ob für das Aufgehen von Zwischenfruchtsaaten im allgemeinen mit genügender Feuchtigkeit zu rechnen ist. Die Restzeit von der Getreideernte bis zum Ende des Vegetationsjahres und die in dieser Zeit zur Verfügung stehende Temperatur- und Strahlungssumme ermöglichen die Abschätzung der durchschnittlichen Ernteaussichten für den Zwischenfruchtbau, wie S c h n e l l e (86) für Hessen bereits 1948 an den ersten phänologisch-klimatologischen Karten zeigte.

5.2.2. **Das landwirtschaftliche Arbeitsjahr.**

Der Arbeitsanfall wechselt in allen landwirtschaftlichen Betrieben im Laufe eines Jahres sehr stark. Um die landwirtschaftliche Betriebsführung möglichst wirtschaftlich zu gestalten, wird entweder ein Ausgleich zwischen den Zeiten mit Arbeitsspitzen und den ruhigeren Zeiten oder, wo dies nicht oder nur im geringen Umfange möglich ist, die Vorausbestimmung des Arbeitskräftebedarfs und ihrer genauen Zeiten angestrebt. Diesbezügliche Arbeitsvoranschläge gewinnen im kleinen für den einzelnen Betrieb oder die Betriebsgenossenschaft bei der Anschaffung von Großmaschinen oder bei Änderungen der Betriebsart und im großen bei weiträumigen Agrarstrukturänderungen — z. B. im Rahmen der EWG — an Bedeutung.

Der Ablauf des landwirtschaftlichen Arbeitsjahres und des phänologischen Jahres laufen weitgehend parallel. Daher sind auch phänologische Zeitabschnitte viel mehr als kalendarische zur Einteilung des Arbeitsjahres geeignet. Mit Hilfe von phänologischen Beobachtungsdaten kann für jeden landwirtschaftlichen Betrieb festgestellt werden, „wieviel Zeit für die Durchführung der Frühjahrs- und Herbstbestellung sowie für die Erntearbeiten zur Verfügung steht. In Gebieten mit zeitigem Frühjahrsbeginn und langer Vegetationszeit bis spät in den Herbst hinein kann der Landwirt die erforderlichen Arbeiten über eine größere Zeitspanne verteilen. Er kommt hier mit einer geringeren Zahl von Arbeitskräften und Gespannen aus, und die Höhe der Betriebskosten ist daher auch wesentlich geringer als in anderen Gebieten mit kurzer Vegetationszeit, in denen alle Arbeiten mit größtem Einsatz von Arbeitskräften und Gespannen in kürzerer Zeit erledigt werden müssen" (90).

Auch J e n s c h (43), der das ländliche Jahr bzw. den ihm adäquaten jährlichen Arbeitsrhytmus in der Landwirtschaft in seiner regionalen Differenzierung in der deutschen Bundesrepublik untersuchte, stellte fest, daß sich zum regionalen Vergleich die arbeitsphänologische Orientierung besser eignet, als ein vielfältiges Mosaik klimatologischer Einzeldaten. „Je nach der Enge oder Weite der (Feldarbeitszeit-) Spanne wird sich hier, wo sich die Arbeit hart an den beiden Grenzterminen (im Frühjahr und Herbst) stößt, unmittelbar und auch mittelbar über die Betriebsform ein anderer Rhythmus entwickeln müssen als dort, wo die größere Spannweite sowohl eine freiere Arbeitsgestaltung als auch in Rückwirkung eine andere Betriebsform zuläßt". Nach einer

von Schnelle für die zitierte Untersuchung entworfene Karte der „Andauer der Feldarbeitsperiode" (Zeitraum vom Beginn bis zum Ende der Feldarbeiten, Mittel 1936-1945), weist Jensch die untersuchten Orte drei Gruppen der Feldarbeitszeitspanne (220-230, 230-240, 240-250 Tage) zu. Es wird jedoch darauf hingewiesen, daß, um genügenden Einblick in die regionale Differenzierung der agrarlandschaftlichen Rhythmik zu bekommen, weitere, vor allem streng auf das ländliche Jahr bezogene Aussagen unerläßlich sind. Das ländliche Jahr wird derart analysiert, daß für jede der sehr verschiedenartigen Betriebsformen der Arbeitsanfall nach Zeit, Menge und Art bestimmt und in Diagrammen dargestellt wird. Die von Jensch entworfenen Diagramme können bei der Festlegung der für die einzelnen Anbaugruppen bzw. Betriebsformen bedeutungsvollen Unterabschnitte des landwirtschaftlichen Jahres (siehe 5.1.2.) eine sehr nützliche Hilfe sein, da sie Beginn, Ende und Andauer der Feldarbeitszeitspanne sowie Einsatztermine, Andauer und Menge der einzelnen Feldarbeiten sehr klar herausstellen.

Bei der Festlegung von Arbeitszeitspannen wurde auch von Blohm-Riebe-Vogel (7) auf den Klimaeinfluß hingewiesen, aber neben einer groben Faustzahl wurden keine Anhaltspunkte über die Länge der Zeitspannen gegeben. Dagegen benutzte Kreher (54-56) zur Zeitspannenabgrenzung sowohl langjährige phänologische Daten als auch Frostdaten. Den Witterungsschwankungen von Jahr zu Jahr versuchte er dadurch zu begegnen, daß die verfügbaren Feldarbeitstage von witterungsmäßig ungünstigen Jahren eingesetzt wurden. Damit hofft er auf Grund praktischer Erfahrungen eine 80%ige Sicherheit zur fristgerechten Durchführung der Feldarbeiten zu erreichen. Auch Spinner (79) legt Beginn und Ende der Zeitspannen nach phänologischen Daten fest. Die Anzahl der Kalendertage pro Zeitspanne wird um den Anteil der Sonn- und Feiertage (17 %) vermindert. Außerdem wird für Regentage und Zeiten, in denen als Folge des Regens das Feld nicht betretbar ist, ein den Niederschlags- und Bodenverhältnissen entsprechender Anteil abgezogen. Bei diesem Anteil wird der Niederschlag durch die Niederschlagshöhe des Monats, in dem die Zeitpanne vorwiegend liegt, berücksichtigt. Phänologisch-klimatologische Daten für kurze Zeitspannen könnten die Exaktheit dieser Methode erhöhen. Lermer (60) geht zur Bestimmung der Arbeitsverlusttage von phänologischen Daten der Einzeljahre und Aufzeichnungen in landwirtschaftlichen Tagebüchern aus. Für die Wartezeiten nach Niederschlägen berücksichtigt er auch die Tageshöchsttemperaturen als Maßstab für die Verdunstung. Außerdem stellt er die Arbeitsverlustzeiten infolge anderer Witterungserscheinungen — Schnee, Frost, Nebel, Tau — fest. Schnelle (87) zeigte am Beispiel einer Station im Obermaintal (Michelau-Lichtenfels) den in den einzelnen landwirtschaftlichen Arbeitsabschnitten wechselnden Einfluß der Niederschlagstätigkeit. Er teilte die Zeit zwischen Beginn und Ende der Feldarbeiten in 17 kleinere Perioden, für die er die relative Häufigket von Tagen bzw. Jahren mit täglichen Niederschlagsmengen über 1 mm bzw. über 2,5 mm berechnete. Vor allem in den Zeiten intensiver Bodenbearbeitung und der Ernte vermag die relative Niederschlagshäufigkeit ein Maß für die im voraus einzukalkulierenden Arbeitsverlustzeiten sein.

Die angeführten Arbeiten zeigen, daß die Notwendigkeit für eine vergleichbare Betrachtung des landwirtschaftlichen Arbeitsjahres und seiner Unterabschnitte sich aus verschiedenen Fragestellungen ergibt. Gerade für große Landschaftsräume wird die Beantwortung solcher Fragen durch die phänologische und phänologisch-klimatologische Betrachtungsweise ermöglicht. Eine wichtige Voraussetzung dazu ist eine den verschiedenen Betriebsformen gerecht werdende einheitliche Unterteilung des landwirtschaftlichen Arbeitsjahres.

Als Beispiel für die Klimabedingtheit einzelner Arbeitszeitspannen sei der Heuschnitt im folgenden etwas ausführlich geschildert. Es ist für die Grünlandwirtschaft von großer Wichtigkeit, den Einfluß der Witterung auf die Heuernte zu untersuchen, um danach sowohl den klimatisch günstigsten Zeitpunkt des Heuschnittes als auch die klimatisch günstigste Art der Heuwerbung zu wählen. Der günstigste Schnittermin liegt, ohne den Witterungseinfluß zu berücksichtigen, zu Beginn oder während der Gräserblüte, wenn der Nährstoffwert am größten und die Verdaulichkeit des Heus am besten ist. Um eine schnelle und möglichst verlustarme Heutrocknung zu erreichen, sind hinsichtlich der Lufttemperatur und -feuchte günstige Witterungszeiten für den Schnitt zu bevorzugen. Für deutsche Agrarlandschaften wurden auf Grund von Temperatur-, Niederschlags- und Feuchtedaten bereits Methoden zur Untersuchung und Klassifizierung der Heuschnitt- und Heutrocknungsgunst entwickelt (19, 24, 106). An Tabelle 4 wurde gezeigt, daß um die Zeit der Winterweizen-Ernte an den verschiedenen europäischen Stationen einzelne Dekaden sich mit allerdings unterschiedlicher Schärfe als trockener und andere als feuchter (Niederschlagshäufigkeit bzw. klimatische Wasserbilanz wurden als ein Vergleichsmaß für die hier nicht zu untersuchende Luftfeuchtigkeit angesehen) erweisen. In ähnlicher Weise könnten für den ersten Wiesenschnitt bei Verwendung anderer phänologischer Zeitmarken und evtl. auch kürzerer zeitlicher Aufbereitungseinheiten (Pentaden) Witterungsperioden ermittelt werden, die für die Trocknung besonders günstig erscheinen. Wenn dann die Ergebnisse der einzelnen Datenaufbereitungen durch ein Bewertungsschema noch in einer Gesamtbewertungsziffer zusammengefaßt werden, können nicht nur verschiedene Zeitabschnitte an einem Ort, sondern auch die ihnen gemäß der Pflanzenentwicklung entsprechende Zeitabschnitte an verschiedenen Orten in ihrer klimatischen Begünstigung größenordnungsmäßig verglichen werden.

5.2.3. Agrarklimatologische Steuerung der Saat- und Erntezeiten

Durch die ständig wachsende Marktverflechtung geraten die Landwirtschaft und die Industrien, die landwirtschaftliche Produkte verarbeiten, in immer stärkere gegenseitige Abhängigkeit. Um eine gute Qualitätsware anbieten zu können, müssen z. B. die Konserven- und Feinkostfabriken auf eine schnelle Verarbeitung der frischen, nicht durch Transport oder Lagerung beeinträchtigten landwirtschaftlichen Güter Wert legen. Diese Industrien, die heute oftmals schon ihren Standort in die Agrargebiete hineinverlegt haben, müssen, um rentabel zu arbeiten, während der Verarbeitungskampagne gleichmäßig mit Agrarprodukten beliefert werden, was durch planvolle Staffelung der Saat- und Erntezeiten erreicht wird. Dadurch werden bei den die Ernteprodukte verarbeitenden Industrien nicht zu bewältigende Arbeitsspitzen und Verlustzeiten vermieden. Denn während der einzelne Haushalt in früheren Zeiten sich jeweils unmittelbar nach der Haupterntezeit der einzelnen Fruchtarten mit seinem Wintervorrat eingedeckt und damit die Erntegut-Schwemmen weitgehend ausgenutzt hat, muß die Winterbevorratung heute dagegen weitgehend von der Industrie übernommen werden. Der Verbraucher nimmt die Agrarprodukte jetzt vielfach je nach Bedarf in Form von Konserven oder Tiefkühlkost ab. Die Industrie, die möglichst in größeren Zeitabschnitten des Jahres rentabel wirtschaften und ausgelastet sein muß, kann ein kurz-

zeitiges Überangebot an Ernteprodukten jedoch weniger bewältigen als eine Vielzahl von Haushalten, vor allem dann, wenn diese durch niedrige Preise zur Vorratswirtschaft angeregt wurden. Damit werden die Ausweitung der Erntezeiten und somit auch die Steuerung der Saat- und Erntetermine immer notwendiger. Bei einer derartigen äußersten Ausnutzung der ganzen Vegetationszeit müssen, um noch rentabel wirtschaften zu können, die agrarklimatologischen Gegebenheiten bezüglich der Standorte und Kulturpflanzen genauestens bekannt sein. Vor allem zur Festlegung der möglichst frühen und der spätesten Wachstumszeiten müssen phänologisch-klimatologische Daten für die Einzeljahre aufbereitet sein, um das witterungsbedingte Risiko abzuschätzen.

Dieses bei einem zeitlich gestaffelten Anbau erhöhte Risiko trägt heute schon vielfach nicht mehr der Landwirt, sondern die Industrie, die z. B. bei der wachsenden Nachfrage an Tiefkühlkost einen vertraglichen Feingemüseanbau mit entsprechender Anbauberatung organisiert. Der Landwirt wird über alle Anbaufragen von der Saat bis zur Ernte von Fachleuten kostenlos beraten, die auch die Saat- und Erntetermine bestimmen, um eine reibungslose, fortlaufende Gemüsebelieferung zu gewährleisten (4). Die landwirtschaftlichen Fachberater müssen u. a. nicht nur über die phänologisch-klimatologischen Bedingungen der Anbaugebiete bestens orientiert sein, sondern sie sollten auch die den Ernteertrag und den Erntetermin verändernden Witterungsfaktoren für die jeweilige Kulturpflanze kennen, um deren Entwicklung im Einzeljahr beurteilen zu können. Der Landwirt selbst kann durch solche Anbauverträge mit einem festen Preis für eine bestimmte Erntemenge einen lohnenden Betriebszweig mit geringem Anbaurisiko aufbauen.

Erstmalig wurde eine derartige wissenschaftlich fundierte Steuerung eines landwirtschaftlichen Betriebes mit ausgedehntem Feldgemüsebau von Thornthwaite (104) auf der Seabrook Farm (New Jersey, USA) nach agrarmeteorologischen Erkenntnissen durchgeführt. Auf Grund umfangreicher phänologischer sowie phänometrischer Beobachtungen und systematischer Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Witterung und Pflanzenwachstum wurden für die einzelnen Kulturpflanzen spezielle Aussaat- und Erntekalender entwickelt. Die Berechnung von diesen Kalendern ist für die Kulturen, bei denen die optimale Erntezeit hinsichtlich der Qualität auf wenige Tage zusammengedrängt ist (z. B. grüne Erbsen), besonders schwierig, aber zugleich auch besonders wichtig. Nach den verschiedenen Saat- und Erntekalendern werden die Anbaupläne aufgestellt und die Aussaat für Flächen bestimmter Größe zeitlich gestaffelt. Damit kann der Anbau der betreffenden Kulturen für den Großbetrieb der Seabrook-Farm und für die ihm angeschlossenen Farmen gesteuert werden, um dann mit Beginn einer jeden Erntekampagne — je nach Jahreswitterung etwas früher oder später — die der Farm ebenfalls angeschlossene Fabrik für Tiefkühlkost gleichmäßig mit Erntegut zu versorgen (90, 94). So wird hierbei unter Berücksichtigung der phänologischen Termine der einzelnen Kulturpflanzen die Temperatursummen-Methode bereits seit Jahren mit Erfolg benutzt, um die günstigsten Erntetermine für jede Produktionsstätte zu ermitteln und bei Ausnutzung der Sortenunterschiede auch die größtmögliche Differenzierung der Saatzeiten in Anpassung an die jeweiligen Boden- und Höhenverhältnisse zu erreichen. Ein dankbares Untersuchungsobjekt sind Erbsen. Da diese z. B. unter +4,5° C Lufttemperatur nicht wachsen, wurde dieser Wert als Ausgangspunkt benutzt und von Tag zu Tag wurden die Temperaturwerte, Tagesmittel der Lufttemperatur vermindert um 4,5° C, addiert. Auch in Deutschland führte man entsprechende Untersuchungen durch. So wurden in Göttingen (110) für die einzelnen Sorten der Erbsen zwischen Aussaat- und Erntezeit im Mittel von 5 Jahren Temperatursummen errechnet, die zwischen 630° und 860° C liegen. Modifizierend wirkte sich die Witterung vor allem durch Kälterückfälle im April bis Mai, zu große Trockenheit zur Saatzeit bzw. in der Blüte oder während des Hülsenansatzes auf das Wachstum und damit auch auf die Temperatursummenwerte aus. Die ertragsvariierenden Witterungsfaktoren müssen also für die verschiedenen Agrarräume genau untersucht werden, um danach die Methode abzuwandeln und zu verfeinern. Auf keinen Fall dürfen die durch Versuche in einem bestimmten Klima gewonnenen Regeln ohne vorherige Anpassung an die veränderten Verhältnisse anderer Klimagebiete Anwendung finden, da andernfalls mit erheblichen Fehlschlägen zu rechnen ist.

Insgesamt muß eine sowohl zeitlich als auch mengenmäßig auf den Bedarf eingestellte landwirtschaftliche Erzeugung durch Züchtung, Düngung, Pflanzenschutz, Zusatzberegnung, Frostschutz u. a. m. eine hohe Ertragssicherheit erzielen. Dabei ist die agrarklimatologische Forschung eine wichtige Voraussetzung und die agrarklimatologische Beratung von großem Nutzen.

5.2.4. **Frostgefährdung**

Die Grenzen der Hauptanbaugebiete von Obst und Gemüse werden durch Strenge und Häufigkeit der dort auftretenden Fröste mitbestimmt. Dies gilt, obwohl verschiedene Methoden des Frostschutzes entwickelt und auch erfolgreich angewendet wurden. Denn Aufwand und Rentabilität von Frostschutzmaßnahmen sind von der anzuwendenden Frostschutzart und dem örtlich stark wechselnden Grad der Frostgefährdung abhängig.

Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Frostschutzmaßnahmen ist es nicht ausreichend, den erforderlichen einmaligen und den zu erwartenden durchschnittlichen Kosten- und Arbeitskräfteaufwand zu berechnen. Vielmehr ist das Verhältnis vom Gewinn der durch Frostschutz erreichbaren Schadensverminderung zum zusätzlichen Kostenaufwand zu ermitteln. Erst dann kann entschieden werden, ob der durch den Anbau von frostempfindlichen, außergewöhnlich frühen oder späten Spezialkulturen zu erreichende höhere Gewinn den Einsatz von Frostschutzmaßnahmen rechtfertigt. Zur Erzielung hoher Preise sowie einer möglichst lückenlosen und gleichmäßigen und damit einem regelmäßigen Absatz gewährleistenden Marktbelieferung wird in zunehmendem Maße auf sowohl örtlich wie zeitlich gestaffelte Erntetermine Wert gelegt. Daher ist man durch züchterische und anbautechnische Maßnahmen bestrebt, die Erntezeit für Obst und Gemüse auszuweiten. Der Verschiebung der Pflanzenentwicklung in die sehr frühen und sehr späten Abschnitte des Vegetationsjahres sind hinsichtlich der Frostgefährdung gewisse Grenzen gesetzt. Denn je weiter der Wachstumsstand unserer Kulturpflanzen im Frühjahr fortgeschritten ist, um so empfindlicher sind sie im allgemeinen gegen Spätfröste. Ebenso erhöht eine absichtlich verzögerte Ernte im Herbst die Gefahr, daß das noch nicht erntereife Gemüse oder die noch unreifen Früchte Frühfrösten zum Opfer fallen. Gerade die aus marktpolitischen Gründen erstrebte Ausweitung des Vegetationsjahres erhöht das Risiko in bezug auf Frostschäden, wodurch wiederum die Wirtschaftlichkeit in Frage gestellt wird. Die Grenzen des frostrisikofreien Anbaus gilt es deshalb zu ermitteln.

Gerade zur Erreichung dieses Zieles ist die phänologisch-klimatologische Untersuchungsmethode von großem Nutzen. Denn wie an der Abbildung 10 bereits gezeigt wurde, fallen rein klimatologische Daten, wie z. B. des mittleren oder extremen ersten und letzten Frosttages sowie der frostfreien Zeit, für einen so differenzierten Klimaraum wie Europa nicht nur in unterschiedliche Kalenderabschnitte, sondern selbst bei gleichen Kulturpflanzen in unterschiedliche Wachstumsabschnitte. Auch ist die Frosthäufigkeit innerhalb über große Gebiete einheitlich gewählter Kalenderabschnitte zur Charakterisierung der wirklichen Frostgefährdung nicht genügend. Weder Beginn und Ende der Vegetationszeit noch der Entwicklungsrhythmus der Kulturpflanzen unterliegen den gleichen regionalen Änderungstendenzen wie die Frosthäufigkeit.

Die Betrachtung der Frostgefahr gewinnt daher noch an Nützlichkeit, wenn man die Zeiten des Auftretens der Fröste mit bestimmten Vegetationsabschnitten der verschiedenen Kulturpflanzen in eine sinnvolle Beziehung setzen kann. Für die einzelnen Zeitspannendrittel zwischen Winterweizen-Ernte und -Aussaat, zwischen Winterweizen- und Sommergetreide-Aussaat, zwischen Sommergetreide-Aussaat und Winterweizen-Ährenschieben sowie für die Zeit um die Apfelblüte wurde dies (Abb. 9, Tab. 7 und 8) gezeigt. An dieser Stelle sei lediglich der verhältnismäßig hohe Prozentsatz an Frosttagen nach Beginn der Apfelblüte in sonst klimatologisch begünstigten Gebieten nochmals erwähnt. Gegenden mit nur kurzer winterlicher Vegetationsruhe, die für frühe und im Herbst späte Kulturen günstig erscheinen, erwiesen sich als relativ stark frostgefährdet. Karten des Eintrittsdatums der extremen und mittleren ersten und letzten Fröste sowie der extremen und mittleren Anzahl der frostfreien Tage für sich allein betrachtet, lassen dies nicht erkennen.

Die genaue Erforschung der Frostgefährdung ist daher besonders für Landschaftsräume, für die eine Umstellung von der rein landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zur Intensivbewirtschaftung durch Obst- und Gemüseanbau in Aussicht genommen ist, eine wichtige Voraussetzung zur Planung. In engbegrenzten Gebieten, wo, verursacht durch orographische Unterschiede, auch sehr große Abweichungen der Frosthäufigkeit und Froststrenge vorkommen, kann man geländeklimatische Kartierungen der Frostgefährdung vornehmen. Für die hier zu verfolgende großräumige Betrachtungsweise muß zunächst der Vergleich (3.2.5.) genügen.

Allerdings können Frosthäufigkeiten, die sich im wesentlichen auf Temperaturbeobachtungen in 2 m Höhe stützen, noch nicht voll befriedigen. Es bleibt zu berücksichtigen, daß Fröste in Bodennähe im allgemeinen häufiger und strenger sind und deren Erforschung daher für niederwüchsige Kulturen besonders dringlich ist. Für die Erfassung der Schadenswirkung von Frösten während der Obstbaumblüte mögen Temperaturen in 2 m Höhe geeigneter erscheinen. Wobei zu bedenken ist, daß bei Strahlungsfrösten die Pflanze selbst noch unter die Temperatur der Luft abgekühlt wird. Es liegen jedoch Temperaturbeobachtungen in ca. 2 m Höhe für zahlreichere Stationen in längeren Meßreihen vor, die den Vorzug haben, für weitere Landschaftsräume als repräsentativ zu gelten. Sie vermitteln daher einen besseren Überblick der allgemeinen Frostgefährdung. Derartige Frosthäufigkeiten sind nur als ein relatives Maß zu werten, das auf Grund besonderer pflanzenphysiologischer Erfahrungen ergänzt werden muß. Dieses Maß muß von sachlich und örtlich spezialisierten Untersuchungen für die Wachstumssphäre, den Landschaftsraum und die Art der Kultur abgewandelt werden.

Summen negativer Tagesmittel der Lufttemperatur vermögen nur einen allgemeinen Eindruck der Winterstrenge zu vermitteln. Sie sagen nichts aus über das im Winter und in den Übergangsjahreszeiten noch mögliche und daher besonders frostgefährdete Pflanzenwachstum. Strenge Winter können sowohl durch eine lange und in den Temperaturen nicht extreme Kälteperiode als auch durch kurze, sehr kalte und dazwischengeschaltete milde Perioden verursacht sein. Im ersten Fall wären wegen der sich über eine lange Zeit ausdehnenden, fast völligen Vegetationsruhe kaum Schäden zu erwarten. Im zweiten Fall kann sich während der milden Witterungsperioden bei den einzelnen Pflanzenarten ein mehr oder weniger lebhaftes Pflanzenwachstum entfalten, das durch nachfolgende Frostperioden besonders gefährdet ist (z. B. Winter 1955/56). Von vielen in diesem Zusammenhang noch erwähnenswerten Variationsmöglichkeiten der Beziehung zwischen Witterungsverlauf und den daraus resultierenden Frostschäden in der Landwirtschaft sei nur noch ein dritter Fall erwähnt. Er wurde am Beispiel der Douglasie bereits eingehender geschildert und bezieht sich auf die besonders in den Übergangsjahreszeiten sehr häufigen Perioden mit regelmäßigen Nachtfrösten und zugleich ziemlich hohen Tagestemperaturen. Während tagsüber das Pflanzenwachstum in den der Sonne und den höheren Temperaturen ausgesetzten Pflanzenteilen bereits erheblich angeregt wird, kann der sich dadurch entwickelnde Feuchtigkeitsbedarf zuweilen nicht gedeckt werden. Denn infolge des mehr oder weniger stark gefrorenen Bodens oder der wegen Beschattung noch nicht bzw. nur partiell aufgetauten Pflanzenteile kann der Wassertransport zu bzw. innerhalb der Pflanze unterbrochen sein. „Die verschiedenen Formen der Frostschäden" werden von Schnelle (97) im „Frostschutz im Pflanzenbau" beschrieben.

Witterungskonstellationen entsprechend den soeben geschilderten 3 Fällen lassen sich nach den verschiedenen Methoden der Frosttageaufbereitung (3.2.5.2.) abstufen. Bei Anwendung der Methode I werden die Frosttage hinsichtlich ihrer Strenge klassifiziert. Ist der Grad der Frosthärte, der sowohl bei den einzelnen Pflanzengruppen als auch in den verschiedenen Entwicklungsstadien ein anderer ist, bekannt, so lassen sich die Schäden abschätzen. Auch im Hinblick auf genügende Kälteisolierung für Ställe und Lagerräume des Erntegutes liefert diese Methode die erforderlichen Daten. Durch die verbesserte Methode II können Frosttage ohne und mit mehr oder weniger stark entwickeltem Pflanzenwachstum und den dadurch der Pflanzenwelt erwachsenen Gefahren unterschieden werden. Hinweise über Bodenzustand und Schneedecke sollten diese Betrachtungen nach Möglichkeit ergänzen. Über die unterschiedliche Dauer und damit auch über die Aufeinanderfolge von Frost und frostfreien Perioden kann ein nach der Methode III zusammengestelltes Material Aufschluß geben. Bei Erwägungen über das Frostrisiko bestimmter Kulturen und zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Frostschutzmaßnahmen sollten alle diese drei Aufbereitungsarten und auch die Häufigkeiten bestimmter Temperaturstufen (Abb. 7) in die Betrachtung einbezogen werden.

Die Aussagekraft von Häufigkeiten der Frostgefährdungsstufen, die nach den beschriebenen Methoden erarbeitet wurden, muß durch Feststellung und Kartierungen der tatsächlich aufgetretenen Frostschäden getestet werden. Dann können Gutachten über den durchschnittlichen Grad der Frostgefährdung bestimmter Vegetationsabschnitte in verschiedenen Gegenden erstellt werden. Damit wäre nicht nur eine Grundlage für langfristige Planungen gegeben, sondern zugleich auch auf Grund des aktuellen Witterungsablaufes eine frühzeitige Abschätzung von zu erwartenden Frostschäden möglich.

5.2.5. **Qualitätssteigerung.**

Auch die Qualität der pflanzlichen Erzeugnisse wird in starkem Maße von der Witterung und dem Klima bestimmt. Gerade in den Grenzgebieten des Anbaus werden bei verschiedenen Früchten hinsichtlich des Geschmacks vielfach die besten Qualitäten erzielt (z. B. Wein, Obst). Der Einfluß längerer Witterungsperioden auf die Qualität ist in manchen Fällen bekannt. Aber bisher „sind nur Einzelarbeiten vorhanden, die mehr oder weniger zufällig diese oder jene Pflanze und einige ihrer Qualitätsmerkmale unter Berücksichtigung des Klimas und der Witterung behandeln. Eine grundsätzliche, zusammenfassende Bearbeitung von agrarklimatologischer Seite fehlt noch", wie Schnelle (88) 1952 ausführte, indem er die verschiedenen zu diesem Themenkreis erschienenen Untersuchungen behandelt und die Auswirkungen von Klima und Witterung auf die Qualität folgender pflanzlicher Erzeugnisse erörtert:

1. Ackerfrüchte
   a) Getreide
   b) Hackfrüchte
   c) Ölfrüchte
2. Wiesengras
3. Obst
4. Gemüse
5. Heil-, Arznei- und Gewürzpflanzen
4. Wein.

Es zeigte sich, daß z. B. bei der Anreicherung mit Vitaminen und verschiedenen qualitativ hochwertigen Stoffen oder bei den Vorgängen der Verfärbung gleiche Witterungserscheinungen bei verschiedenen Pflanzen entsprechende Qualitätsveränderungen auslösen. Strahlung und Temperatur erweisen sich als besonders wirksame Witterungsfaktoren. Aber auch Niederschlag, Luftfeuchtigkeit und Wind können auf die Qualität von Einfluß sein. Dabei sind die großklimatischen Einflüsse, die in großen Räumen gleichartige Qualitätsunterschiede bewirken, und die kleinklimatischen, die schon in engbegrenzten Räumen zu erheblichen Qualitätsschwankungen führen können, zu unterscheiden.

Zur Frage der lokalklimatologischen Abhängigkeit der Änderung von Qualitätsmerkmalen konnte Grunow (31, 32) mit seinen Untersuchungen über geländemeteorologische Einflüsse auf den Carotingehalt der Futterpflanzen einen eindrucksvollen Beitrag liefern.

Neben länger anhaltenden Witterungsperioden üben auch kurzfristige, sogar stundenweise Witterungserscheinungen einen oft recht entscheidenden Einfluß auf die Qualität aus. Größere Temperaturschwankungen können die Pflanzenentwicklung stören. Vermutlich gibt es für jedes pflanzliche Entwicklungsstadium meteorologische Grenzwerte, deren Unter- oder Überschreitung die Lebensvorgänge in der Pflanze mehr oder weniger beeinflussen.

Die qualitätsbeeinflussende Wirkung von Hagel und Frösten z. B. ist allgemein bekannt. Weniger dagegen, daß auch der Tagesgang einzelner meteorologischer Elemente (Sonnenschein, Temperatur, Luftfeuchte, Taubildung, Luftbewegung) die Qualität pflanzlicher Erzeugnisse zuweilen recht stark beeinflussen kann. So wird für bestimmte pflanzliche Produkte, um die durch günstige Tageswitterung verursachte hohe Qualität auszunutzen, neben der allgemeinen sogar eine tageszeitliche meteorologische Steuerung der Erntezeiten mit Erfolg durchgeführt (10, 11). Durch Berücksichtigung der hauptsächlichen qualitätsvariierenden Erscheinungen im täglichen Wetter- und im jahreszeitlichen Witterungs- bzw. Klimaablauf wurden mit Pflanzen, die ätherische Öle liefern, trotz artfremder Standorte nicht nur gleichwertige, sondern sogar hochwertige Produkte erzeugt.

Die Ermittlung der qualitätswirksamen Witterungsfaktoren wird beim Vorliegen von Qualitätsabstufungen der Ernteprodukte durch Methoden ermöglicht, wie sie Pfau (73) zur Erfassung der ertragsvariierenden Witterungsfaktoren anwendete. Unterlagen über die relativen Häufigkeiten bestimmter Witterungserscheinungen in phänologischen Zeitspannen können oft schon wertvolle Hinweise darüber geben, ob der Anbau bestimmter Kulturen hinsichtlich gewisser Qualitätsmerkmale günstig und im Verhältnis zu anderen Agrargebieten qualitativ konkurrenzfähig ist. Nur wenn die Zusammenhänge zwischen Witterung und Qualität systematisch untersucht sind, kann man mit den hier entwickelten Methoden entsprechende Untersuchungen durchführen und geeignete Anbaugebiete und Standorte finden.

5.2.6. **Weitere agrarklimatologische Einzelprobleme**

In den vorhergehenden Unterabschnitten wurden nur landwirtschaftliche Teilprobleme in ihrer Abhängigkeit von der Witterung bzw. vom Klima beschrieben. Darüber hinaus üben die Klimafaktoren noch bei zahlreichen anderen landwirtschaftlichen Fragen einen Einfluß aus, der z. T. erkannt und untersucht, aber nur in wenigen Fällen größenordnungsgemäß für verschiedene Räume festgelegt wurde. Hier sollen aus der Vielzahl nur noch vier agrarklimatologische Anwendungsgebiete herausgegriffen und erwähnt werden.

Während in früheren Zeiten die Bewässerung und Beregnung vor allem in ariden Gebieten üblich war, wird heute die Ergänzungsbewässerung auch im humiden Klimabereich angewendet. Sie soll in kurzen, unregelmäßig auftretenden Trockenperioden den Pflanzen die Deckung ihres Wasserbedarfs weitgehend ermöglichen. Zur erfolgreichen Steuerung der künstlichen Bewässerung und Beregnung ist die Kenntnis besonders trockener und nasser Witterungsperioden, des Verdunstungsanspruchs der Pflanzen und des Bodenwasserhaushalts erforderlich, um die Zeiten und das Ausmaß des Niederschlagsdefizits zu berechnen.

Auch auf den Zeitpunkt, die Menge und den praktischen Nutzen der Düngung ist die Witterung von großem Einfluß. Von der Witterung während und nach der Düngung (Niederschlag, Wind, Bodenzustand) hängt es ab, in welchem Maße die Pflanzentwicklung darauf reagiert. Die Witterungsbedingungen der vorhergehenden Zeit sind wegen der mehr oder weniger starken Erhaltung, Bildung oder Auswaschung der Nährstoffe im Boden zu verfolgen, um sie bei der Menge der Düngergabe zu berücksichtigen. Im besonderen verdienen diese Fragen bei Düngungsversuchen Beachtung.

Hinsichtlich des Pflanzenschutzes wird die Agrarmeteorologie bei einer großräumigen Betrachtungsweise vor sehr schwierige Aufgaben gestellt. Für eine erfolgreiche Schädlingsbekämpfung sind u. a. mikrometeorologische und klimatologische Untersuchungsmethoden erforderlich, deren Ergebnisse nur in sehr begrenztem Maße überregional anwendbar sind. Es müssen in verschiedenen Klimagebieten für die gleichen Krankheitserreger verschiedene Regeln zu deren Bekämpfung benutzt werden.

Wie bereits erwähnt, bedarf es nicht nur beim Einsatz der Arbeitskräfte, sondern auch beim Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen einer annäherungsweisen Bestimmung der witterungsbedingten Einsatz- bzw. Verlustzeiten. Bei den einzelnen Maschinen sind verschiedene Untersuchungen erforderlich, die wie z. B. zur Beurteilung des Mähdreschereinsatzes recht komplexer Art sein und auch den Tagesgang einzelner meteorologischer Elemente mit berücksichtigen müssen.

Bei Untersuchungen zu den hier aufgeführten und anderen landwirtschaftlichen Teilgebieten kann die phänologisch-klimatologische Betrachtungs- und Arbeitsweise zur Klärung der verschiedenen Fragen beitragen.

5.3. Ernteertrag und Ernteprognose in ihrer Klima- bzw. Witterungsbedingtheit

5.3.1. Beziehung zwischen Ertrag und Witterung

Die agrarklimatologische Arbeitsrichtung, die bestrebt ist, die Zusammenhänge zwischen dem Ernteertrag unserer Kulturpflanzen und der Witterung festzustellen, hat in jüngster Zeit durch die von P f a u (73) angewendete phänologisch-klimatologische und statistische Arbeitsweise einen vielversprechenden Aufschwung erlebt. Auf die Entwicklung und eine nähere Erläuterung dieser Arbeitsrichtung, die in den letzten Jahrzehnten zwar von sehr verschiedenen Seiten, mit unterschiedlichen Methoden und z. T. großem Arbeitsaufwand betrieben wurde, ohne aber zu überregional oder auch nur ihrem Gewicht nach zu vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, kann hier unter Hinweis auf die zitierte Veröffentlichung verzichtet werden. Für die Landkreise der deutschen Bundesrepublik legt P f a u auf Grund von Ertragszahlen (1949 bis 1959) der Spätkartoffel, des Winterweizens, der Sommergerste und des Hafers die Jahre mit ertragsmäßig günstigen bzw. ungünstigen Witterungsbedingungen (Optimal- oder Schadensjahre) fest. Außerdem wurden unter Benutzung klimatologischer und phänologischer Daten der Optimal- und Schadensjahre ertragsvariierende Witterungsmerkmale bestimmter Wachstumsabschnitte erarbeitet.

Die Möglichkeiten, die sich aus dieser Arbeitsmethode für großräumige agrarklimatologische Untersuchungen ergeben, werden am treffendsten mit den vom Autor in der Schlußbetrachtung gewählten Formulierungen umrissen: „In den vorangegangenen Kapiteln ist der Versuch unternommen worden, eine Methode zu entwickeln, die eine großräumige Behandlung des Problems Witterung und Ernteertrag gestattet. Der Verfasser ist sich klar darüber, daß bei einer solchen großräumigen Betrachtung über manches hinweggegangen werden mußte, was ohne Zweifel nicht ohne Einfluß auf den Ertrag ist. So ist sicherlich der Trend eine erste Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse. Ebenso sicher sind die gefundenen ertragsbildenden Witterungsfaktoren nicht die einzigen. Daß in Wirklichkeit ertragsbildende Witterungsfaktoren voneinander nicht unabhängig sind, sondern sich gegenseitig beeinflussen, hat bisher jeder, der in dieser Problematik gearbeitet hat, erkannt. Man würde bestimmt den tatsächlichen Verhältnissen näher kommen, wenn man die Relationen zwischen Witterung und Ertrag an Hand langer und homogener Beobachtungsreihen eines Ortes studieren und die Ergebnisse durch Hinzunahme weiterer vergleichbarer Reihen auf andere Orte unter gewissen Modifizierungen übertragen könnte. Das dazu notwendige Netz von Beobachtungsstationen haben wir nicht, schon gar nicht, wenn die Behandlung des Problems auf den Raum ausgedehnt wird, in dem die behandelten Fragen in Zukunft von Bedeutung sind, auf den Raum der EWG. Es ist deshalb von vornherein das Ziel verfolgt worden, methodisch so vorzugehen, daß im Prinzip eine Anwendung auf große Räume möglich ist. Das Gebiet der Bundesrepublik sollte dabei methodisches Versuchsfeld sein. Bei der im Vergleich zum EWG-Raum geringen Klimaamplitude des Bundesgebietes dürfte es nicht überraschen, wenn die witterungsbedingten Ertragseffekte sich als relativ geringfügig erwiesen. Der Verfasser ist überzeugt, daß innerhalb des EWG-Raumes wesentlich markantere Unterschiede auftreten, zu deren Präzisierung die dargelegte Methode eine erste Möglichkeit bieten dürfte."

Diese mehr quantitative phänologisch-klimatologische Arbeitsrichtung bietet unter Benutzung neuzeitlicher Datenverarbeitungsmaschinen die Voraussetzung, um für die verschiedensten Agrarräume die ertragsvariierenden Witterungsfaktoren einzelner Kulturpflanzengruppen in biologisch sinnvollen, regional vergleichbaren pflanzlichen Entwicklungsabschnitten zu ermitteln. Außerdem kann auf Grund derartiger Materialaufbereitungen sowohl die witterungsbedingte Rentabilität berechnet als auch das Grundlagenmaterial für Erntevorhersagen erstellt werden.

5.3.2. Agrarmeteorologische Berichterstattung und Prognose

Die Erweiterung eines gemeinsamen Wirtschaftsraumes stellt die Agrarmeteorologie bezüglich der Berichterstattung vor umfangreichere Aufgaben. So forderte die Deutsche Landwirtschaftliche Presse (18) bereits 1959 eine schnelle Berichterstattung, um neben dem Handel auch den Landwirt über die Fälle, wo das Wetter das landwirtschaftliche Geschehen maßgeblich beeinflußt hat, aufzuklären. Zum Beispiel, wenn eine wetterbedingte Vorverlegung der Ernte oder durch Fröste oder Trockenheit eine starke Verzögerung des Erntetermins oder gar eine Vernichtung der Ernte für die landwirtschaftlichen Hauptproduktionsstätten vorauszusehen ist. Sekundäre Anbaugebiete können durch geringfügige Änderungen des Erntetermins und durch eine zeitlich und mengenmäßig angepaßte Anlieferung der Produkte den Markt ausgleichen und evtl. auch höhere Gewinne erzielen. Eine Berichterstattung in monatlichem oder sogar in 14tägigem Abstand wird in diesem Aufsatz für wünschenswert gehalten.

Die Notwendigkeit einer europäischen agrarmeteorologischen Berichterstattung ist leicht einzusehen, jedoch sind die Grundlagen für eine solche noch nicht in genügendem Maße vorhanden. Die Übermittlung der Wetterbeobachtungen stellen kein Problem dar, weil sie für den allgemeinen Wetterdienst benötigt werden. Um Aussagen über aktuelle landwirtschaftliche Termine machen zu können, muß jedoch das aktuelle Witterungsgeschehen mit dem Klimaablauf und der diesem in Durchschnittsjahren angepaßten Pflanzenentwicklung verglichen werden. Phänologische Mittelkarten und phänologisch-klimatologische Grundlagenkarten sind Voraussetzung für eine derartige Berichterstattung.

Auf Grund von phänologischen und phänometrischen Beobachtungen ist die fortschreitende Pflanzenentwicklung zu verfolgen. Um witterungsbedingte kritische Pflanzenentwicklungen und außerdem vorausschauend die Erträge beurteilen zu können, müssen u. a. die Beziehungen zwischen Witterung und Ertrag untersucht und quantitativ erfaßt werden. Es bleibt auch zu untersuchen, inwieweit sich z. B. die von S c h n e i d e r (80) für süddeutsche Stationen ermittelten Zusammenhänge zwischen dem Eintrittstermin bestimmter Phasen und Temperatursummen für phänologische Zeitspannen in anderen Klimaräumen bestätigen und prognostisch (z. B. zu Vorhersagen des Blüh- und Reifestadiums) verwenden lassen. Es sollte auf Grund von phänologisch-klimatologischen Spezialuntersuchungen auch möglich sein, die in 5.2. aufgezeigten Beziehungen zwischen Witterung und Landwirtschaft bei einer großräumigen agrarmeteorologischen Berichterstattung und Prognose zu berücksichtigen.

Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland werden vom Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes agrarmeteorologische Wochenhinweise herausgegeben. Sie berichten über die landwirtschaftlich besonders wirksamen Witterungsereignisse und werden z. B. durch Karten der Eintrittszeiten von Wachstumsphasen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, durch Meßergebnisse des Bodenklimas und Bodenwasserhaushaltes unter verschiedenen Pflanzenbeständen und im Frühjahr durch Blühvorhersagen, im Winter durch Mietenklimahinweise ergänzt.

Eine Möglichkeit, einerseits die phänologisch-klimatologische Grundlagenforschung schnell voranzutreiben und andererseits zugleich schon bald zu einer großräumigen agrarklimatologischen Berichterstattung zu gelangen, wird in der Entwicklung eines einheitlichen, internationalen phänologisch-klimatologischen Beobachtungsprogramms gesehen. Durch einen diesem Programm angepaßten phänologisch-klimatologischen Stationsschlüssel könnten evtl. wöchentlich einmal von bestimmten Basisstationen die Meldungen im internationalen meteorologischen Nachrichtenaustausch in einer Zentrale gesammelt werden. Hiernach wären in dieser Zentrale nach den in der Synoptik üblichen Methoden phänologisch-klimatologische Karten zu zeichnen und ein agrarmeteorologischer Bericht zu verfassen, der die verschiedenen Interessenten kurzfristig informieren kann.

Literatur

(1) Andreae, B.: Betriebsformen in der Landwirtschaft. Entstehung und Wandlung von Bodennutzungs-, Viehhaltungs- und Betriebssystemen in Europa und Übersee sowie neue Methoden ihrer Abgrenzung. Stuttgart 1964.

(2) Arléry, R., Garnier, M., Langlois, R.: Application des méthodes de Thornthwaite à l'esquisse d'une description agronomic du climat de la France. Météorologie 36 (1954) S. 345-368.

(3) Aster, E. A. van: Die Erfassung von Witterungskonstellationen und ihrer Beziehungen zur Ertragsleistung. Z. Acker-Pflanzenbau. 112 (1961) S. 399 — 412

(4) Badische Anilin- & Soda-Fabrik AG, BASF, Landwirtschaftliche Abteilung: Kurz und bündig. Auslese aus den neuesten landwirtschaftlichen Veröffentlichungen. 17 (1964) S. 9

(5) Bagnouls, F.; Gaussen, H.: Saison sêche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. 88 (1953) S. 193 — 239

(6) Berg, H.: Bedeutung und Grenzen der Phänologie für die Klimatologie. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 358 — 360

(7) Blohm-Riebe-Vogel: Arbeitsleistung und Arbeitskalkulation in der Landwirtschaft. Stuttgart-Ludwigsburg 1956

(8) Blüthgen, J.: Allgemeine Klimageographie. Lehrb. d. Allgem. Geographie Bd. II, Berlin 1964.

(9) Bögel, A.: Besprechung von T. A. Golubova „Anzahl der Tage mit Nachtfrost in der UdSSR". Agrarmeteor. Bibliogr. 1961, S. 153.

(10) Boss, G.: Der Einfluß von Klima und Witterung auf den Wirkstoffgehalt von Drogen. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 394 — 395.

(11) Boss, G.: Der Einfluß der Witterung während der Erntezeit auf den Ölgehalt des echten Lavendels (Lavendula Spica). Meteor. Rdsch. 16 (1963) S. 19 — 21.

(12) Brandtner, E.: Methodische Untersuchungen an phänologischen Beobachtungen unter besonderer Berücksichtigung phytopathologischer Probleme. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 47 (1958).

(13) Brichambaut, P. G. de; Wallén, C. C.: A study of agroclimatology in semi-arid and arid zones of the near east. WMO Techn. Note Nr. 56 (1963).

(14) Burckhardt, H.: Meteorologische Voraussetzungen der Nachtfröste. Kleinklimatische Kartierung nach Frostgefährdung und Frostschaden. In: Schnelle, F., u. a.: Frostschutz im Pflanzenbau. München 1963. Bd. 1, S. 13 — 81, 195 — 268.

(15) Burckhardt, H.: Zur Häufigkeit von Nachtfrösten. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 28 (1962).

(16) Burckhardt, H.; Schneider, M.: Großklimatische Feststellungen über Frosthäufigkeit. In Schnelle, F., u. a.: Frostschutz im Pflanzenbau. München 1963. Bd. 1, S. 269 — 303.

(17) Deutscher Wetterdienst in der US-Zone: Der heiße und trockene Sommer 1947. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 7 (1949).

(18) Deutsche Landwirtschaftliche Presse: Wünsche an die Agrarmeteorologie. Dt. Landwirtsch. Presse 82 (1959) Nr. 27, S. 282.

(19) Eimern, J. van: Zur Witterung während der Heuernte an der Küste und im Binnenland in den vergangenen neun Jahren. Das Grünland. H. 10 (1956) S. 75 — 78.

(20) Engelbrecht, Th.: Die Landbauzonen der außertropischen Länder. Berlin 1899.

(21) Engelbrecht, Th.: Die Landbauzonen der Erde. Petermanns Mitt. Erg.-H. Nr. 209 (1930) S. 287 — 297.

(22) Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (EWG): Die großen Agrarregionen in der EWG. Gemeinsame Untersuchung der EWG und der OEEC. Studien, Reihe Landwirtschaft Nr. 1 (1960).

(23) Euverte, G.: Les climats et l'agriculture. In: „Que sais-je?" Nr. 824 (1955).

(24) Franken, E.: Zum Problem des Frostrisikos im Frühjahr und Herbst. Gartenbauwiss. 1 (1955) S. 492 — 509.

(25) Freitag, E.: Besprechung von Walter, H. und Lieth, H.: Klimadiagramm-Weltatlas. Naturwiss. Rdsch. 15 (1962) S. 331.

(26) Garnier, M.: Contribution à l'étude des gelées en France. Météorologie 36 (1954) S. 369 — 378.

(27) Gaussen, A.: A propos de Diagrammes climatiques. Erdkunde 15 (1961) S. 73 — 75.

(28) Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. 4. neubearb. und erw. Aufl. Braunschweig (1961).

(29) Godard, M.; Nigond, J.: Les gelées de printemps à l'Ecole Nationale et l'Agriculture de Montpellier. Météorologie 36 (1954) S. 319 — 344.

(30) Golubova, T. A.: Čislo dnej s zamorozkami v SSSR (Die Anzahl der Tage mit Nachtfrost in der UdSSR). Trudy Glav. Geofiz. Obs. A. I. Voeikova 91 (1960) S. 89 — 94.

(31) Grunow, J.: Geländemeteorologische Einflüsse auf den Carotingehalt der Futterpflanzen und das Entstehen von Mangelkrankheiten. Heilkunst. 67 (1954) S. 266 — 274.

(32) Grunow, J.: Witterungseinflüsse auf die Pigmentbildung der Wiesenpflanzen und den Vitamin-A-Gehalt der Milchfette. Internat. Biometeor. 7 (1963) S. 35 — 43.

(33) Grünhagen, H.: Über einige Beziehungen zwischen Pflanzenleben und Umwelteinflüssen auf Grund phänologischer Untersuchungen. Neues Arch. Niedersachsen 11 (16) (1963) S. 142 — 149.

(34) Gutsche, A.: Über das Auftreten von Frösten bei verschiedenen Wetterlagen im Frühling und im Herbst. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 288 — 292.

(35) Heyer, E.: Witterung und Klima. Eine allgemeine Klimatologie. Leipzig 1963.

(36) Höhne, W.: Abschätzung der Frostgefährdung witterungsabhängiger Phasen der Pflanzenentwicklung. Wiss. Z. Univ. Halle-Wittenberg, Math.-naturwiss. R. 4 (1954) S. 199 — 201.

(37) Hoffmann, G.; Scherhag, R.: Besprechung von Walter, H. und Lieth, H.: Klimadiagramm-Weltatlas. Erde 4 (1961) S. 309.

(38) Huttary, J.: Häufigkeit von trockenen und nassen Perioden in verschiedenen Klimaten. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 77 — 82.

(39) Jacob, H.: Klimatische und geländeklimatische Untersuchungen auf dem Versuchsgut Rengen, Kreis Daun-Eifel. Diss. Inst. Pflanzenbau Univ. Bonn 1960.

(40) Jätzold, R.: Aride und humide Jahreszeiten in Nordamerika. Stuttg. Geogr. Studien 71 (1961).

(41) Jätzold, R.: Die Dauer der ariden und humiden Zeiten des Jahres als Kriterium für Klimaklassifikationen. In: Herm. v. Wissmann — Festschrift. Tübingen 1962. S. 89 — 108.

(42) Jensch, G.: Die nationalstaatliche Marktregelung als agrarräumlicher Wirkungsfaktor. Erde. 6 (1954) S. 336 — 346.

(43) Jensch, G.: Das ländliche Jahr in deutschen Agrarlandschaften. Abh. Geogr. Inst. Freie Univ. Berlin 3 (1957).

(44) Keßler, O.: Zur Phänologie des Rheinlandes. Wiss. Abh. Reichsamt Wetterd. 4, Nr. 3 (1938).

(45) Klatzmann, J.: La localisation des cultures et des productions animals en France. Paris 1955.

(46) Knoch, K.: Über die Strenge der Winter in Norddeutschland nach der Berliner Beobachtungsreihe 1766 bis 1947. Meteor. Rdsch. 1 (1947) S. 137 — 140.

(47) Knoch, K.: In: Rodenwaldt, E.: Welt-Seuchen-Atlas. Hamburg 1952.

(48) Knoch, K.; Schulze, A.: Methoden der Klimaklassifikation. Petermanns Mitt. Erg.-H. Nr. 249 (1952).

(49) Köppen, W.: Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. Petermanns Mitt. (1918) S. 193 — 203, 243 — 244.

(50) Köppen, W.: Die Klimate der Erde. Grundriß der Klimakunde. Berlin und Leipzig 1923.

(51) Köppen, W.; Geiger, R.: Handbuch der Klimatologie in 5 Bänden. Berlin 1930 — 39.

(52) Korte, W.: Klimatische Wasserbilanz, ein Hilfsmittel zur Steuerung der Feldberegnung. Landbauforsch. Völkenrode 8 (1958) S. 90 — 92.

(53) Korte, W.: Die „klimatische Wasserbilanz" als Charakteristik der Witterung. Landbauforsch. Völkenrode 11 (1961) S. 9 — 11.

(54) Kreher, G.: Der Arbeitsvoranschlag im Bauernhof. Ber. Landtechnik Nr. 36 (1953).

(55) Kreher, G.: Leistungszahlen für Arbeitsvoranschläge und der Arbeitsvoranschlag im Bauernhof. Landarbeit u. Technik. H. 17 (1955).

(56) Kreher, G.: Zur Methodik des Arbeitsvoranschlages. Agrarwirtschaft 8 (1959) S. 77 — 81.

(57) Kuhnke, A.: Die Abhängigkeit des Pflanzenertrages von der Wasserverdunstung. Schriften Königsberger Gelehrten der Gesellschaft der Naturwiss. Klasse 13, H. 4 (1936).

(58) Lauer, W.: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln. Bonner. Geogr. Abh. H. 9 (1952) S. 1 — 98.

(59) Lauer, W.: Klimadiagramme. Gedanken und Bemerkungen über die Verwendung von Klimadiagrammen für die Typisierung und den Vergleich von Klimaten. Erdkunde 14 (1960) S. 232 — 242.

(60) Lermer, J.: Arbeitszeitspannen und verfügbare Arbeitstage unter dem Einfluß von Klima und Bodenart im niederbayerischen Raum. Bayer. Landwirtsch. Jb. 38 (1961) S. 158 — 195.

(61) Mäde, A.: Bemerkungen zur Vereinfachung des phänologischen Meldeprogramms. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 110 — 114.

(62) Mäde, A.: Methodische Voruntersuchungen für eine Agrarklimatologie der DDR. Abh. Meteor. Hydrol. Dienst. DDR Nr. 46 (1958).

(63) Mohrmann, J. C. J.; Kessler, J.: Wasserdefizit in der europäischen Landwirtschaft. Eine klimatische Kartierung. Internat. Inst. Land Reclamat. & Improvement. Wageningen 1959.

(64) Muthmann: Agrarstruktur im Rahmen der Regionalplanung. Land-Hauswirtsch. Auswertungs-Informationsdienst (1964).

(65) Neugebauer, W.: Die Möglichkeiten der Verhütung von Winterschäden in Forstbaumschulen. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. H. 108 (1963) S. 8 — 13.

(66) Nigond, J.: L'appréciation du risque dans la lutte contre les gelées printannières des arbres fruitiers dans la région parisienne. Ann. Inst. Nat. Rech. agron Ser. A 5 (1954) S. 321 — 338.

(67) Olschowy: Der Landschaftsplan als Grundlage der Neuordnung im ländlichen Raum. Land-Hauswirtsch. Auswertungs-Informationsdienst (1964).

(68) Olsen, K.-H.: Die natürlichen Grundlagen der Landwirtschaft im EWG-Raum. Forsch.-Sitzungsber. Akad. Raumf. Landespl. Bd. XI, 2 (1959) S, 41 — 58.

(69) Otremba, E.: Allgemeine Agrar- und Industriegeographie. Erde und Weltwirtsch. Bd. 3. Stuttgart 1953.

(70) Otremba, E.: Die deutsche Agrarlandschaft. Wiesbaden 1956.

(71) Otremba, E.: Atlas der deutschen Agrarlandschaft. 1. Lieferung Wiesbaden 1962.

(72) Papadakis, J.: Climatic Tables for the World. Buenos Aires 1961.

(73) Pfau, R.: Ein Beitrag zur Wetterertragsstatistik von Halm- und Hackfrucht. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 94 (1964).

(74) Reidat, R.: Klimadaten für Bauwesen und Technik. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 64 (1960) u. 86 (1963).

(75) Roemer-Scheffer: Lehrbuch des Ackerbaues. 5. Aufl. völlig neu bearb. von Scheffer, F. und Tornau, O. Berlin und Hamburg 1959.

(76) Sauer, G.: Die Milchwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Diss. Marburg 1961.

(77) Seemann, J.: Ein Beitrag zur allgemeinen Spätfrostgefährdung in Nord-Westdeutschland, besonders für den Obstbau. Zeitfragen der Baumschule Folge 7. Aachen 1951.

(78) Seemann, J.: Wachstum und Klima in Frankreich. Deutsche Bauernkorresp. Nr. 13 (1959) S. 151 — 152.

(79) Spinner, J.: Ermittlung der Zeitspannen für den Arbeitsvoranschlag auf der Grundlage phänologischer Daten. Agrarwirtsch. 7 (1958) S. 245 — 247.

(80) Schneider, M.: Summen, Mittel und mittlere Extreme der Temperatur von phänologischen Zeitspannen. Ein Beitrag zur phänologischen Klimatologie Süddeutschlands und zum Temperatursummenproblem. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 276 — 281.

(81) Schneider, M.: Begriff und Einteilung des Frostes. Methoden der Frostvorhersage. Literatur über die Grundlagen der Frostschadensverhütung. In: Schnelle F. u. a.: Frostschutz im Pflanzenbau. München 1963. Bd. 1, S. 3 — 12, 304 — 383, 444 — 473.

(82) Schnelle, F.: Phänologische Andauerkarten von Europa. Kühn-Archiv 60 (1943) S. 98 — 104.

(83) Schnelle, F.: Phänologische Charakterisierung typischer Klimagebiete Europas. Petermanns Geogr. Mitt. 91 (1945) S. 3 — 10.

(84) Schnelle, F.: Studien zur Phänologie Mitteleuropas. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 2 (1948).

(85) Schnelle, F.: Einführung in die Probleme der Agrarmeteorologie. Schriften über neuzeitlichen Landbau H. 11 (1948).

(86) Schnelle, F.: Die klimatisch-phänologischen Bedingungen des Zwischenfruchtbaus in Hessen. Dt. Landwirtsch. Informationsdienst. Herausg. Hessisch. Staatsmin. Landwirtsch. Ernährung Forsten und Militärregierung, 1. Sonderh. Frankfurt/M. 1948.

(87) Schnelle, F.: Methoden und Möglichkeiten einer phänologischen Klimatologie. Ann. Meteor. 4 (1951) S. 97 — 108.

(88) Schnelle, F.: Klima und Witterung in ihrer Auswirkung auf die Qualität pflanzlicher Erzeugnisse. Z. landwirtsch. Forsch. 2. Sonderh. (1952) S. 51 — 60.

(89) Schnelle, F.: Klima. In: Spiegel der westdeutschen Landwirtschaft. E. I, Land-Hauswirtsch. Auswertungs-Informationsdienst (1954).

(90) Schnelle, F.: Pflanzen-Phänologie. Leipzig 1955.

(91) Schnelle, F.: Wünsche an die Agrarmeteorologie. Dt. Landwirtsch. Presse 82 (1959) Nr. 29 S. 303.

(92) Schnelle F.: Besprechung von Walter, H. und Lieth, H.: Klimadiagramm-Weltatlas. Umschau 61 (1961) S. 382.

(93) Schnelle, F.: Landwirtschaftlich-phänologischer Jahresablauf in den deutschen und europäischen Agrargebieten. Verh. Dt. Geopraphentag 33 (1962) S. 276 — 287.

(94) Schnelle, F.: Bericht über einen Studienaufenthalt in den USA. Offenbach/M. 1962.

(95) Schnelle, F.: Auswirkungen des Frostes auf die Pflanzen. In: Schnelle, F. u. a.: Frostschutz im Pflanzenbau. München 1963. Bd. 1, S. 384 — 424.

(96) Schnelle, F.: Beiträge zur Phänologie Europas I. Ber. Dt. Wetterd. (Im Druck.)

(97) Schnelle, F. unter Mitarbeit von Aichele, H., Baumgartner, A., Burckhardt, H. und Schneider, M.: Frostschutz im Pflanzenbau. Quellenwerk über den Nachtfrost, seine Entstehung, Vorhersage und Abwehr. Band 1: Die meteorologischen und biologischen Grundlagen der Frostschadensverhütung; Band 2: Die Praxis der Frostschadensverhütung. München 1963.

(98) Schulze, A.: Besprechung von Walter, H.: Klimadiagramm-Karte von Afrika. Meteor. Rdsch. 11 (1958) S. 168.

(99) Schulze, A.: Ein Beitrag zur Frage der Trockengrenzen. Meteor. Rdsch. 15 (1962) S. 88.

(100) Staveren, J. van: Die Größe des Niederschlagsdefizits in der europäischen Landwirtschaft. Wasser und Nahrung H. 1 (1959) S. 36 — 42.

(101) Staveren, J. M. van; Mohrmann, C. J.: Gesamtübersicht des Wasserdefizits in Europa und des Bedarfs an Ergänzungsbewässerung. Verband Europ. Landwirtsch. CEA 2. Kommission. Brugg (1958) Mitt. Nr. 1.

(102) Tamm, E.: Über die Beziehungen zwischen Witterungsverlauf und Ertragsleistung bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen im Land Brandenburg bzw. im ehemaligen Regierungsbezirk Potsdam. Z. Acker-Pflanzenbau 92 (1950) S. 100 — 124, 450 u. 94 (1952) S. 166.

(103) Thiele, P.: Deutschlands landwirtschaftliche Klimatographie. Bonn 1895.

(104) Thornthwaite, C. W.: Operations research in agriculture. J. Operations. Res. Soc. Amer. 1 (1953) S. 33 — 38.

(105) Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R.: Instructions and tables for computing potential evatranspiration and the water balance. Drexel Inst. Techn., Labor. Climat., Publ. Climat., Bd. X, Nr. 3 (1957).

(106) Uhlig, S.: Meteorologische Fragen der Heuwerbung und Scheunentrocknung. Z. Acker-Pflanzenbau 102 (1957) S. 377 — 390.

(107) Walter, H.: Die Klimadiagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke. Ber. Dt. Bot. Ges. 68 (1955) S. 331 — 344.

(108) Walter, H.: Einführung in die Phytologie. Band III: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. Stuttgart 1949.

(109): Walter, H.; Lieth, H.: Klimadiagramm-Weltatlas. 1. Lieferung Jena 1960.

(110) Waveren, van und de Bres GmbH: 65 Jahre Pflanzenzucht. Rosdorf üb. Göttingen 1963.

(111) Weger, N.; Herbst, W.; Rudloff, C. F.: Witterung und Phänologie der Blühphase des Birnbaums. Wiss. Abh. Reichsamt Wetterd. Bd. VII Nr. 1 (1940).

(112) Weischet, W.: Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Rahmenlandschaften. Eine geographische Analyse subregionaler Klimadifferenzierungen. Münchener geogr. Hefte H. 8 (1955).

(113) Weischet, W.: Über Klimaforschung im Maßstab des Landschaftsgefüges. Verhandl. Dt. Geographentag 30 (1957) S. 351 — 358.

(114) Werth, E.: Klima- und Vegetations-Gliederung Deutschlands. Mitt. Biol. Reichsanst. Land-Forstwirtsch. H. 33 (1927).

(115) Werth, E.: Zur Klimatologie, Pflanzengeographie und Geschichte des europäischen Ackerbaus. Ber. Dt. Bot. Ges. 47 (1929) S. 34 — 43.

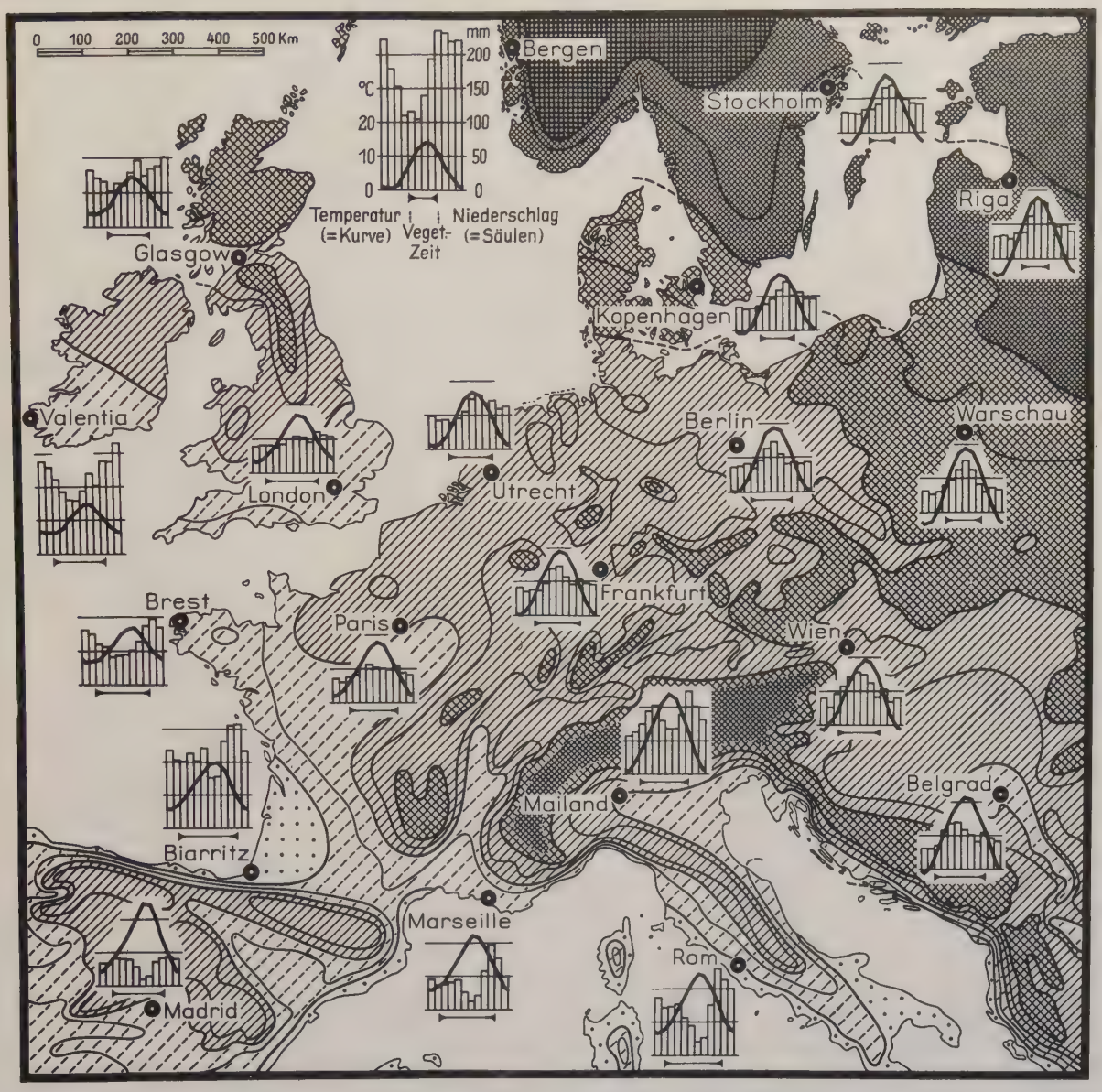
(116) Witterstein, F.: Die Differenz zwischen Hütten- und Erdbodenminimum nach heiteren und trüben Nächten in Geisenheim (Rheingau). Meteor. Rdsch. 2 (1949) S. 172.

LEBENSLAUF

Am 31. Oktober 1928 wurde ich als Tochter des Zahnarztes Alfred Freitag und seiner Ehefrau, Wilma, geb. Ufferhardt, in Magdeburg geboren. Ab Ostern 1935 besuchte ich die 23. Gemeindeschule und ab Ostern 1939 die später in Helene-Lange-Schule umbenannte Viktoria-Schule in Magdeburg, an der ich am 14. 7. 1947 die Reifeprüfung ablegte.

Mit der Eröffnung der Freien Universität Berlin begann ich im Herbst 1948 an dieser Hochschule das Studium der Geographie, Geologie, Meteorologie und Kartographie und beendete es am 4. März 1953 mit der Diplomprüfung in Geographie. Am Geographischen Institut, in dem ich seit meinem zweiten Studiensemester als studentische Hilfskraft gearbeitet hatte, war ich bis Sommer 1957, anschließend bis Herbst 1958 am Institut für Meteorologie und Geophysik als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig. Danach wurde ich vom C.-Bertelmanns-Verlag in Gütersloh als Redakteurin im Kartographischen Institut eingestellt und bin seit Januar 1960 beim Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach angestellt.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren:
Behrmann, Fels, Quelle, Richter, Scherhag,
Jensch, Meckelein, Valentin und Schönenberg.



Zahl der Tage zwischen
Sommergetreide-Aussaat und Winterweizen-Aussaat

Abb. 1
Klima und Vegetationszeiten in Europa
Mittlere Andauer der landwirtschaftlich nutzbaren Vegetationszeiten im Jahr
Entwurf: Brandtner-Schnelle (93)

Abb. 2
Stationskarte
(Kurzform der Stationsnamen unterstrichen)

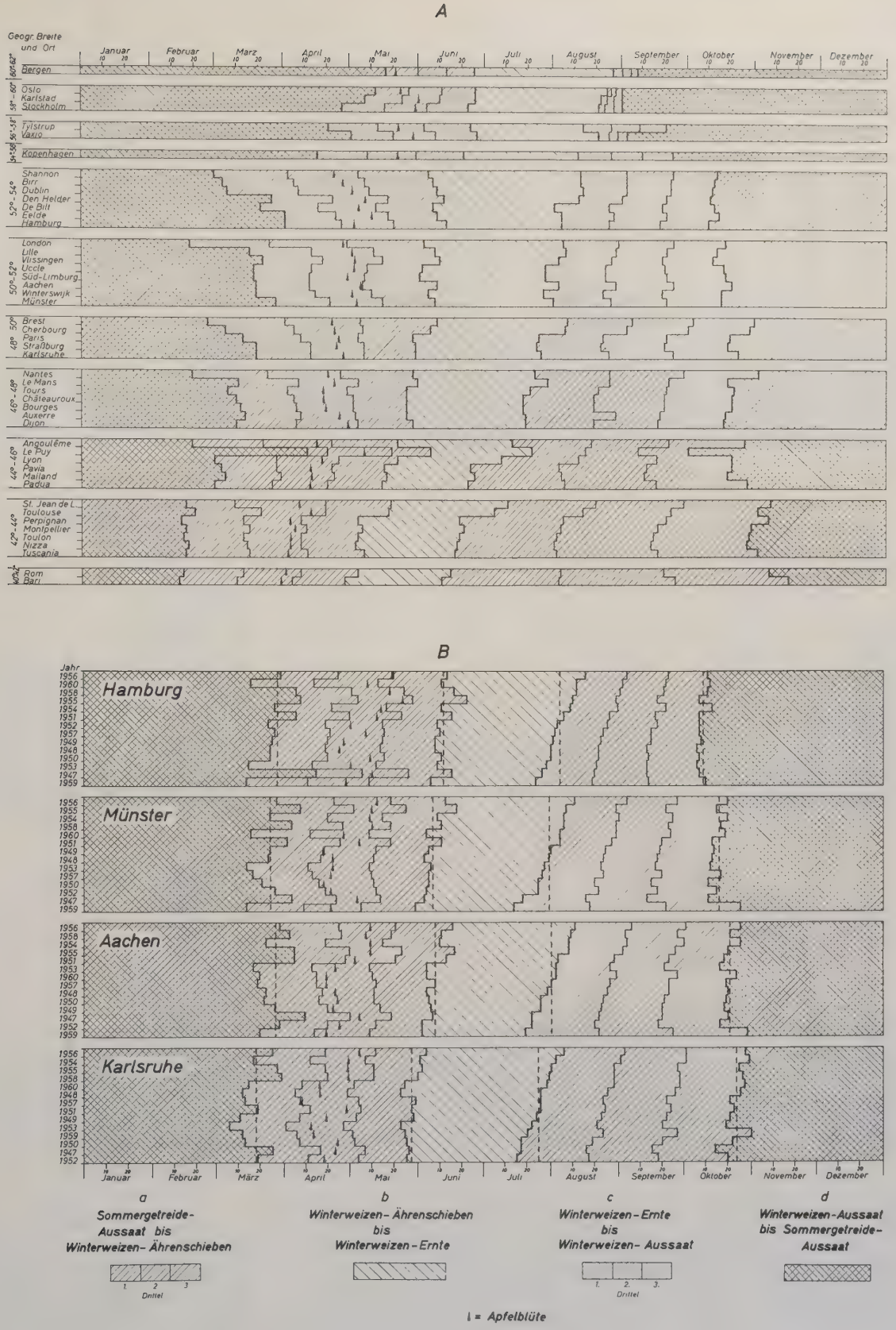


Abb. 3

Phänologische Phasen und Zeitspannen

A Langjährige Mittel für 48 europäische Orte

B Einzeljahre für 4 deutsche Stationen. Reihenfolge der Jahre nach Beginn der Winterweizen-Ernte. Phasenmittel 1947-1960 gestrichelt

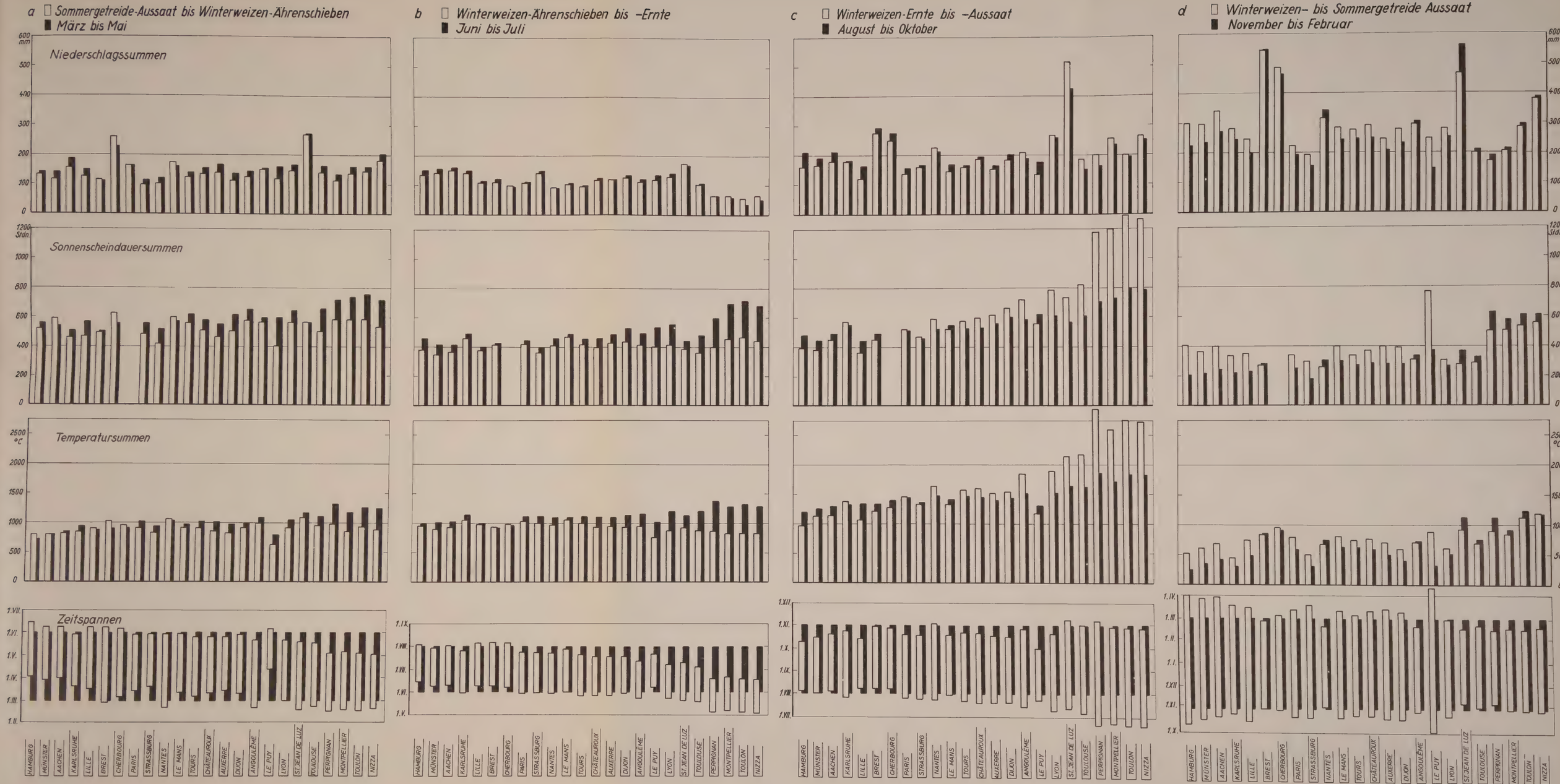


Abb. 4
Klimasummen und Dauer 4 phänologischer und 4 kalendarischer Zeitspannen
für 20 französische und 4 deutsche Stationen

Abb.5

Frankreich-Karten der Klimasummen und -mittel sowie der mittleren Dauer für die Zeitspanne Sommergetreide-Aussaat bis Winterweizen-Ähren-schieben (a)

I Mittlere Temperatursummen
II Mittlere Sonnenscheindauersummen
III Mittlere Niederschlagssummen
IV Mittlere Dauer
V Mittlere Tagesmittel der Temperatur
VI Mittlere tägliche Sonnenscheindauer
VII Mittlere tägliche Niederschlagssummen

Als Klammerzusatz die Anzahl der Jahre bei Auswertungsperioden von weniger als 14 Jahren

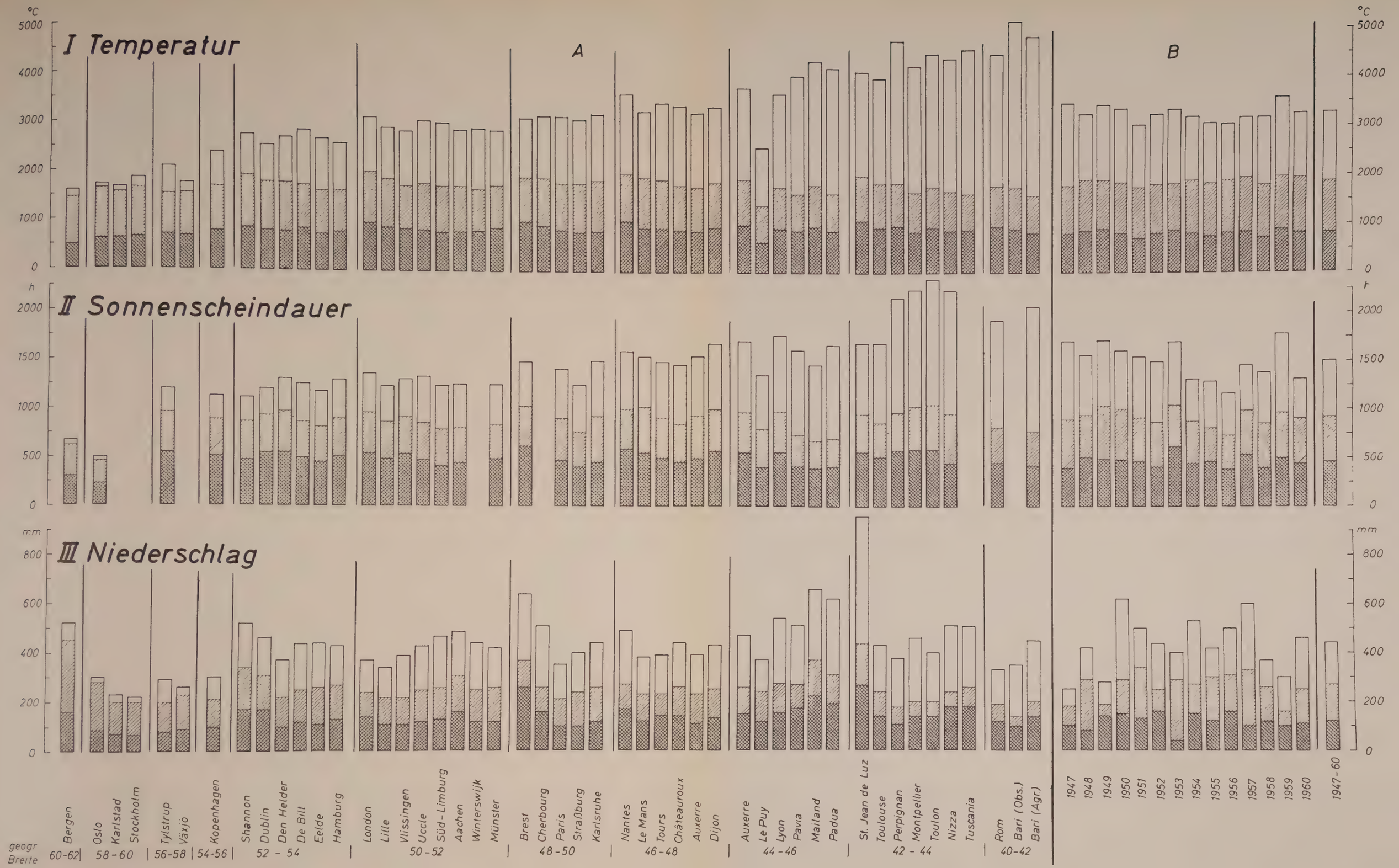


Abb. 6
Mittlere Klimasummen für phänologische Zeitspannen

A Für 48 europäische Stationen nach langjährigen mittleren phänologischen Daten
B Für Karlsruhe nach phänologischen Daten der Einzeljahre

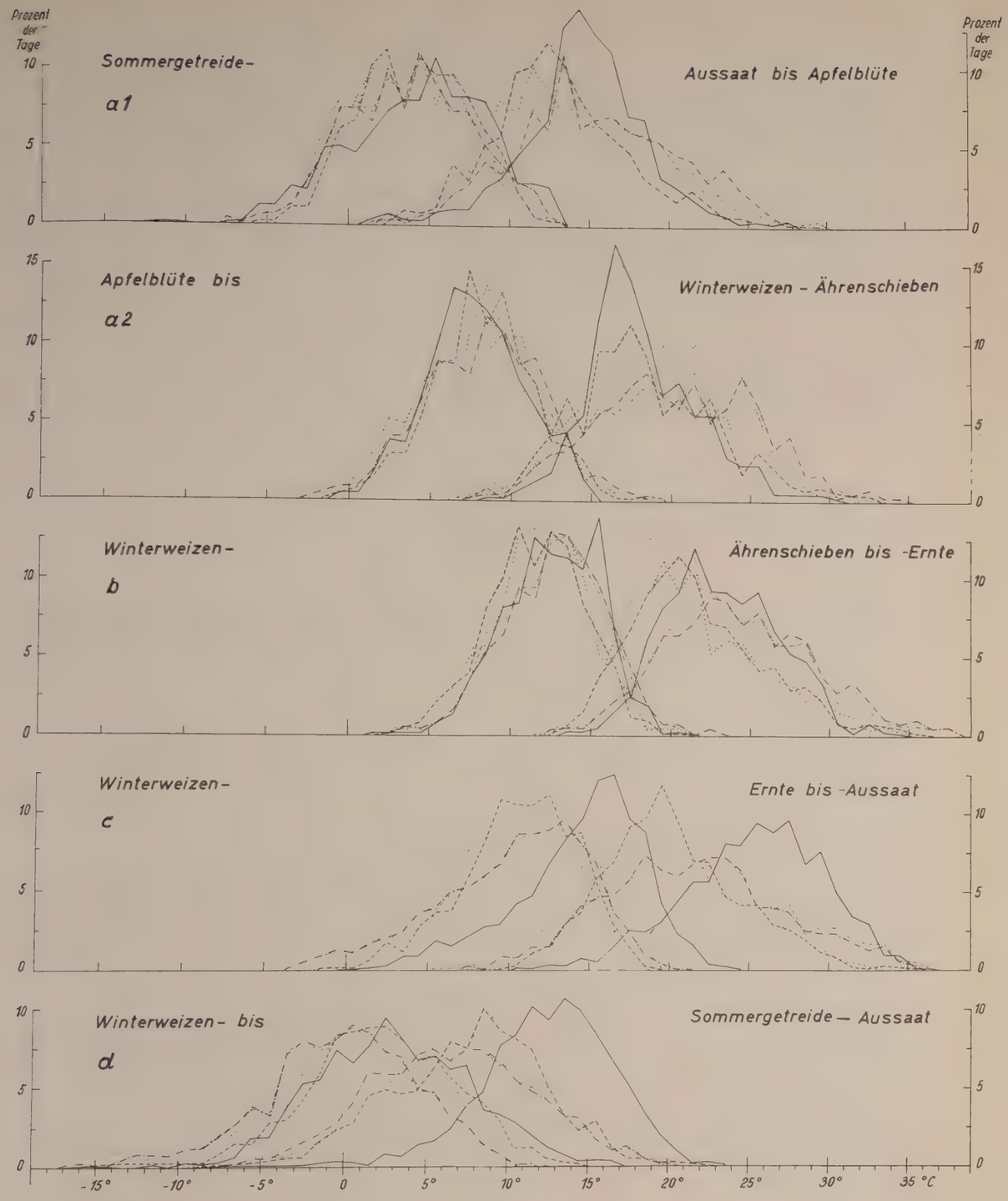
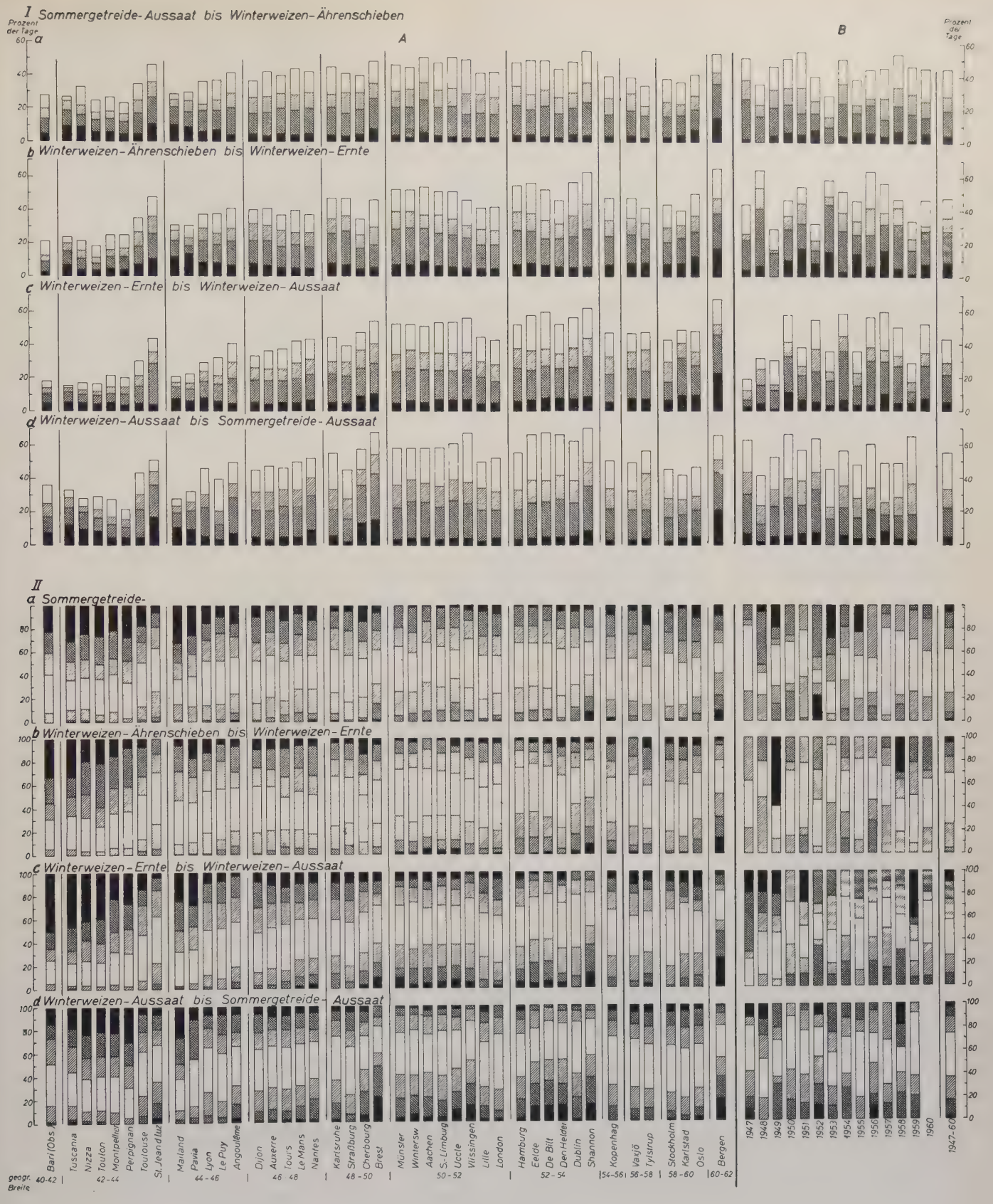


Abb.7
Häufigkeit täglicher Temperaturextreme für phänologische Zeitspannen

····· Münster
·-·-· Karlsruhe
– – – Lille
—— Montpellier

I Relative Häufigkeit
II Summenprozentkurven



I Aufgeteilt in Stufen der Niederschlagssumme:

- 0,1 – 0,9 mm
- 1,0 – 2,4 mm
- 2,5 – 9,9 mm
- ≥ 10 mm

II Aufgeteilt nach Zugehörigkeit zu Perioden von:

- 1 – 3
- 4 – 7
- 8 – 14
- ≥ 15

} aufeinanderfolgenden Tagen mit bzw ohne Niederschlag

Abb. 8

Häufigkeit der Niederschlags- und der niederschlagsfreien Tage in phänologischen Zeitspannen

A Für 43 europäische Stationen nach langjährigen mittleren phänologischen Daten

B Für Karlsruhe nach phänologischen Daten der Einzeljahre

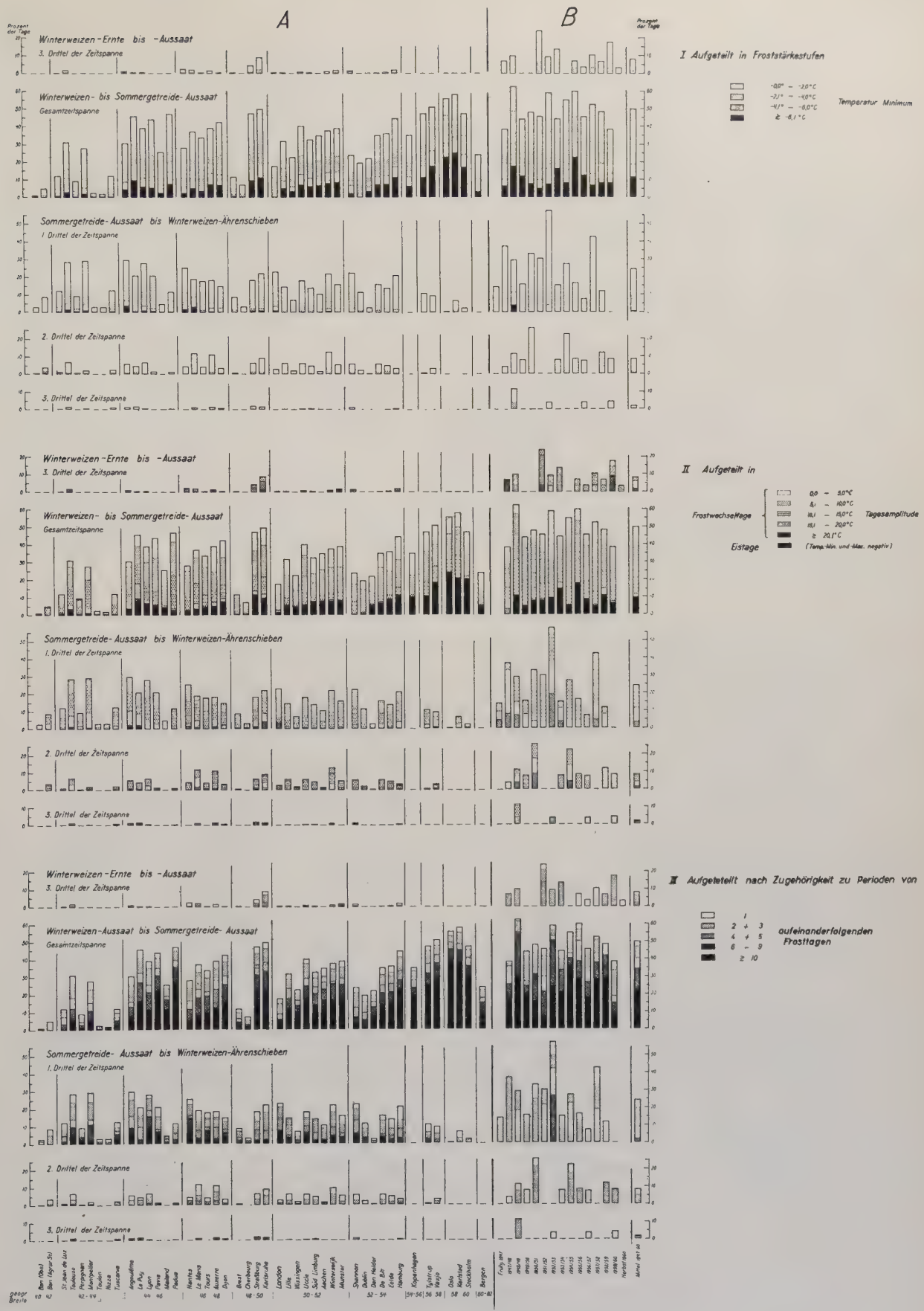


Abb. 9

Häufigkeit der Frosttage in phänologischen Zeitspannen

A Für 45 europäische Stationen nach langjährigen mittleren phänologischen Daten

B Für Karlsruhe nach phänologischen Daten der Einzeljahre

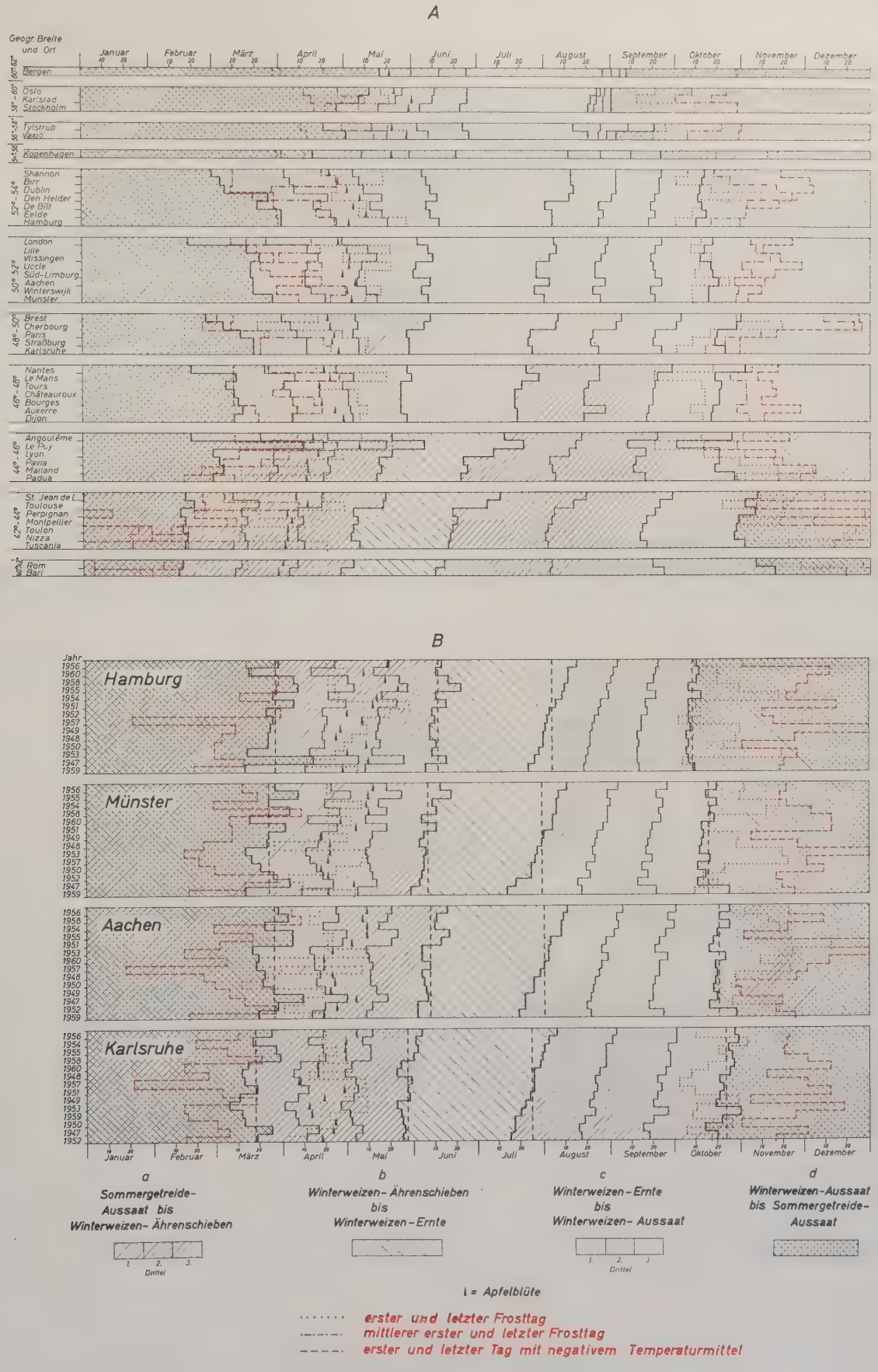


Abb. 10

Beginn und Ende der Frostperiode im Vergleich zu phänologischen Phasen und Zeitspannen

A Für 48 europäische Stationen

B Für 4 deutsche Stationen (Einzeljahre)

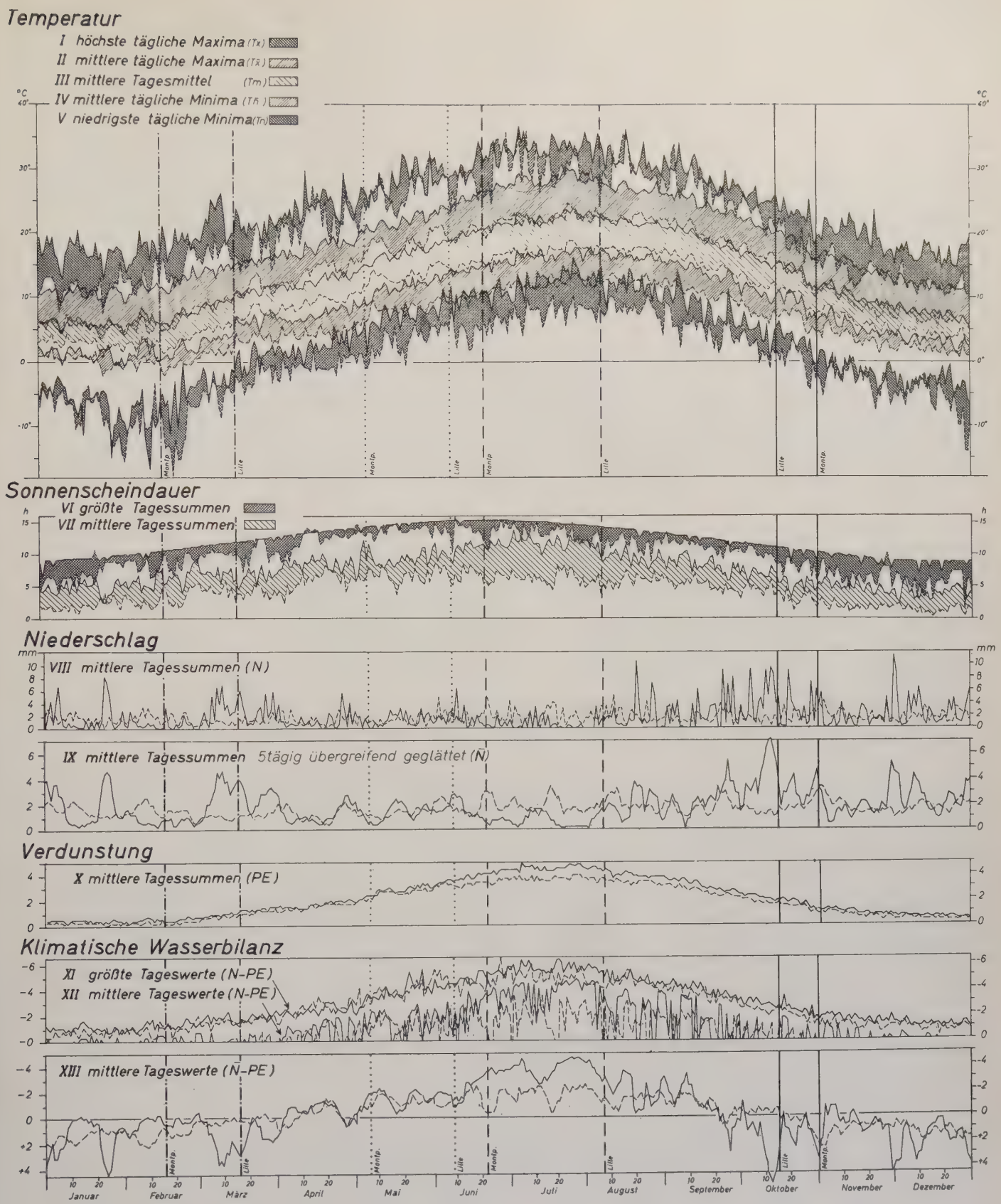


Abb. 11

Klimadaten für Kalendertage

Stationen: ——— Montpellier

- - - Lille

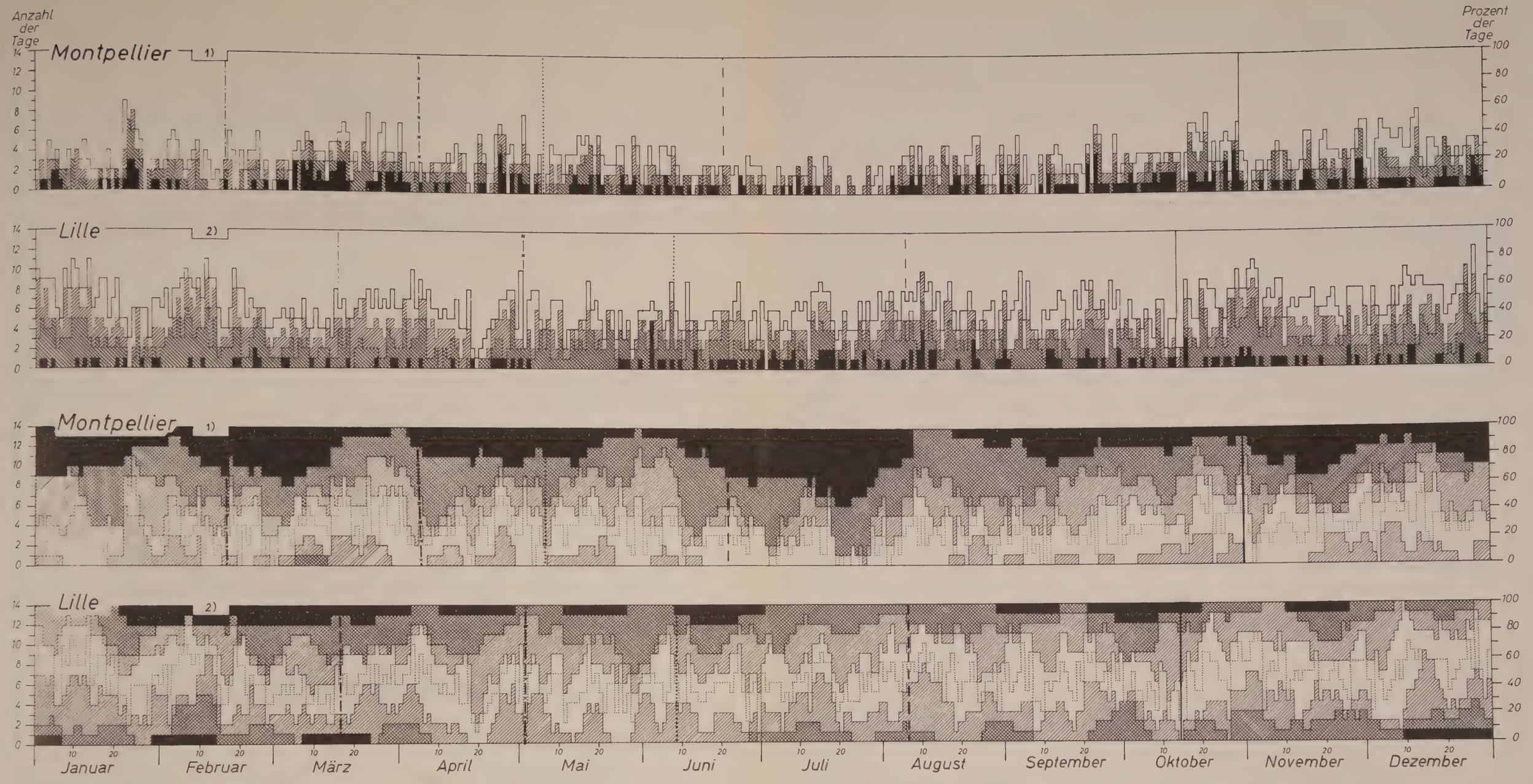
Langjährige mittlere phänologische Phasen:

-·-·- Beginn Sommergetreide-Aussaat

····· Beginn Winterweizen-Ährenschieben

- - - Beginn Winterweizen-Ernte

——— Beginn Winterweizen-Aussaat



I Aufgeteilt in Stufen der Niederschlagssumme:

- 0,1 — 0,9 mm
- 1,0 — 2,4 mm
- 2,5 — 9 mm
- ≥ 10 mm

II Aufgeteilt nach Zugehörigkeit zu Perioden von:

- 1 — 3
- 4 — 7
- 8 — 14
- ≥ 15

} aufeinanderfolgenden Tagen mit bzw. ohne Niederschlag

Anm.: 1) Montpellier 8.- 17. Februar
2) Lille 9.- 17. Februar
} nur von 13 Jahren Niederschlagsdaten vorhanden

Abb. 12
Häufigkeit der Niederschlags- und der niederschlagsfreien Tage für Kalendertage

Langjährige mittlere phänologische Phasen:

- ·-·-· Beginn Sommergetreide-Aussaat
- -x-x- Beginn Apfelblüte
- ····· Beginn Winterweizen-Ährenschieben
- - - - Beginn Winterweizen-Ernte
- ——— Beginn Winterweizen-Aussaat

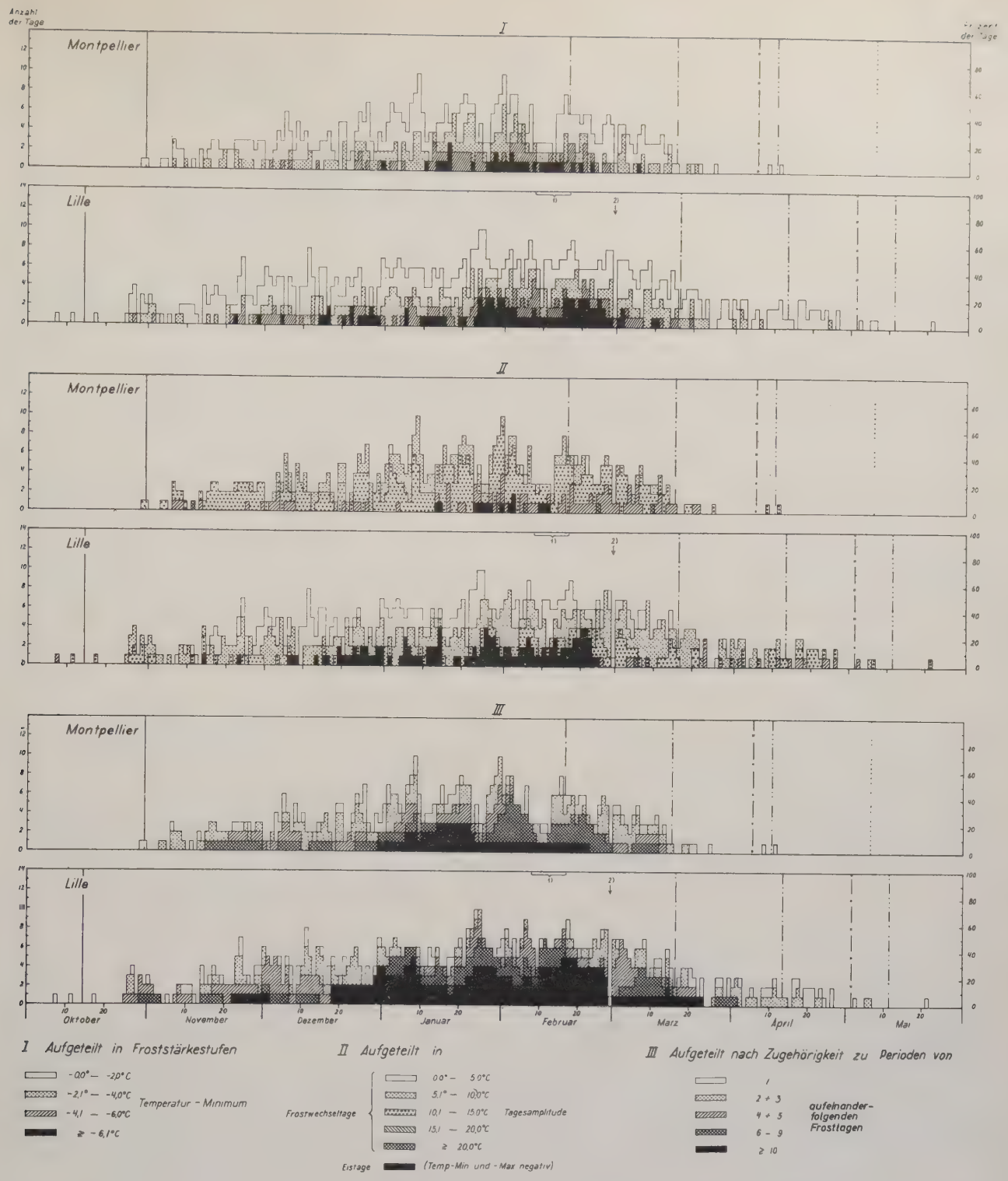


Abb. 13
Häufigkeit der Frosttage für Kalendertage

Langjährige mittlere phänologische Phasen:

— • — • Beginn Sommergetreide-Aussaat
— • • — • • Beginn 2. Drittel } zwischen Sommergetreide-Aussaat
- • • • - • • • Beginn 3. Drittel } und Winterweizen-Ährenschieben
— x — x Beginn Apfelblüte
• • • • • • • • Beginn Winterweizen-Ährenschieben
- - - - Beginn Winterweizen-Ernte
——— Beginn Winterweizen-Aussaat

Anm.: 1) Montpellier 8.-17.Februar } nur 13 Jahre Temperaturdaten vorhanden
Lille 9.-17.Februar }
2) 29.Februar: insgesamt nur 4 Schaltjahrstage in der 14jährigen Periode

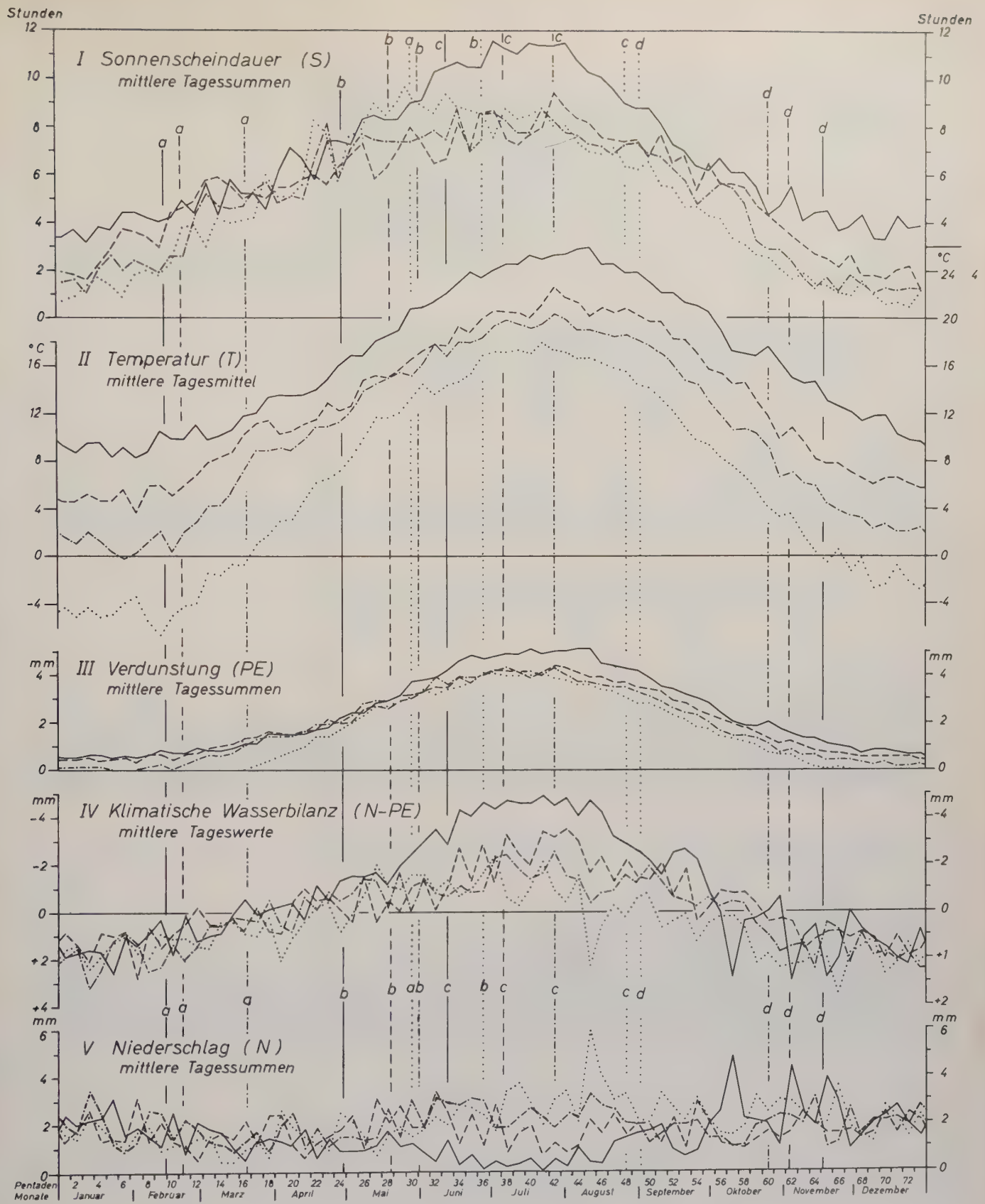


Abb. 14

Klimadaten für Pentaden

Stationen: ——— Bari(Obs) bzw. Sonnenscheindauer von Rom

- - - Toulouse

-·-·- Karlsruhe

..... Oslo

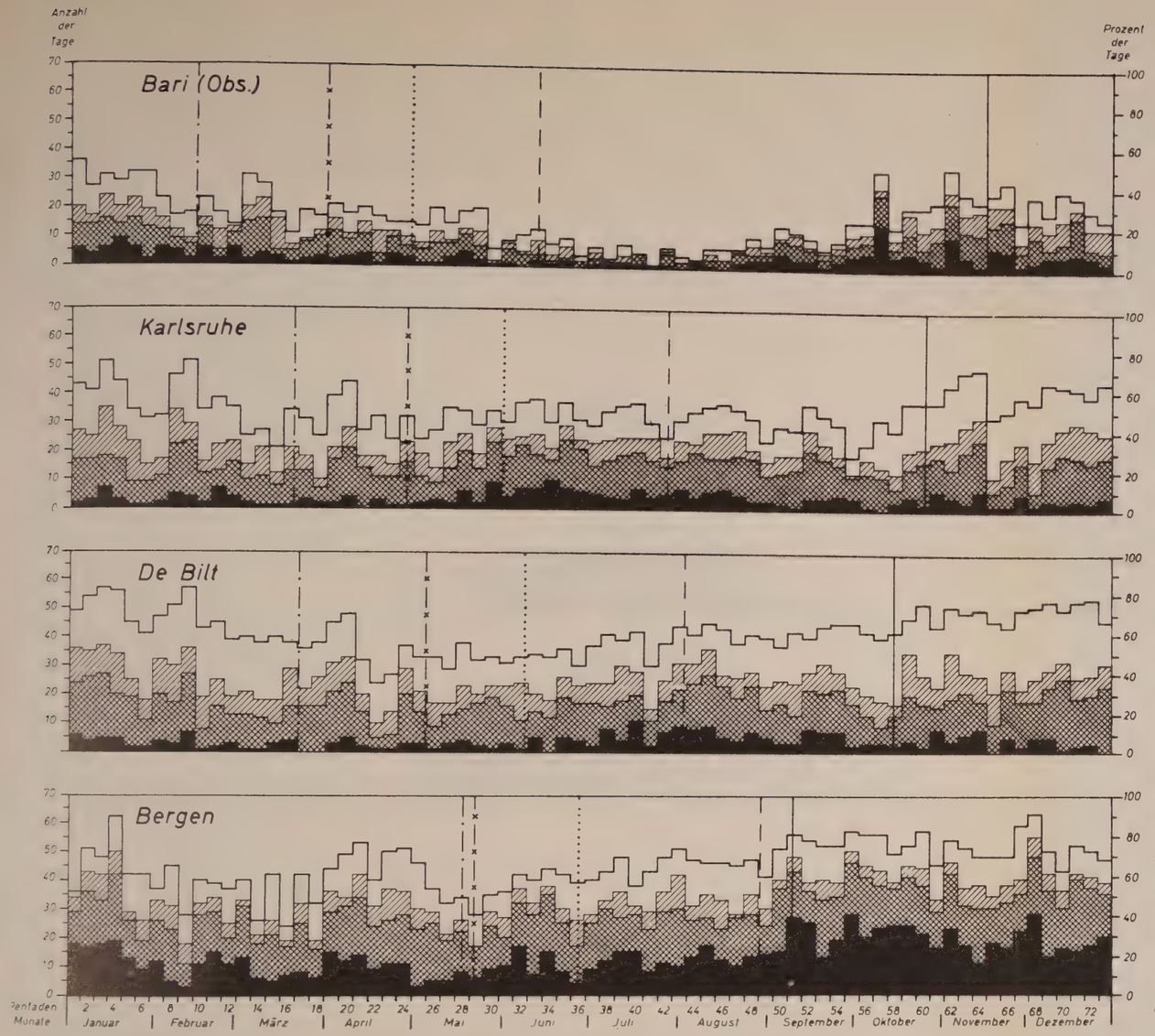
Langjährige mittlere phänologische Phasen:

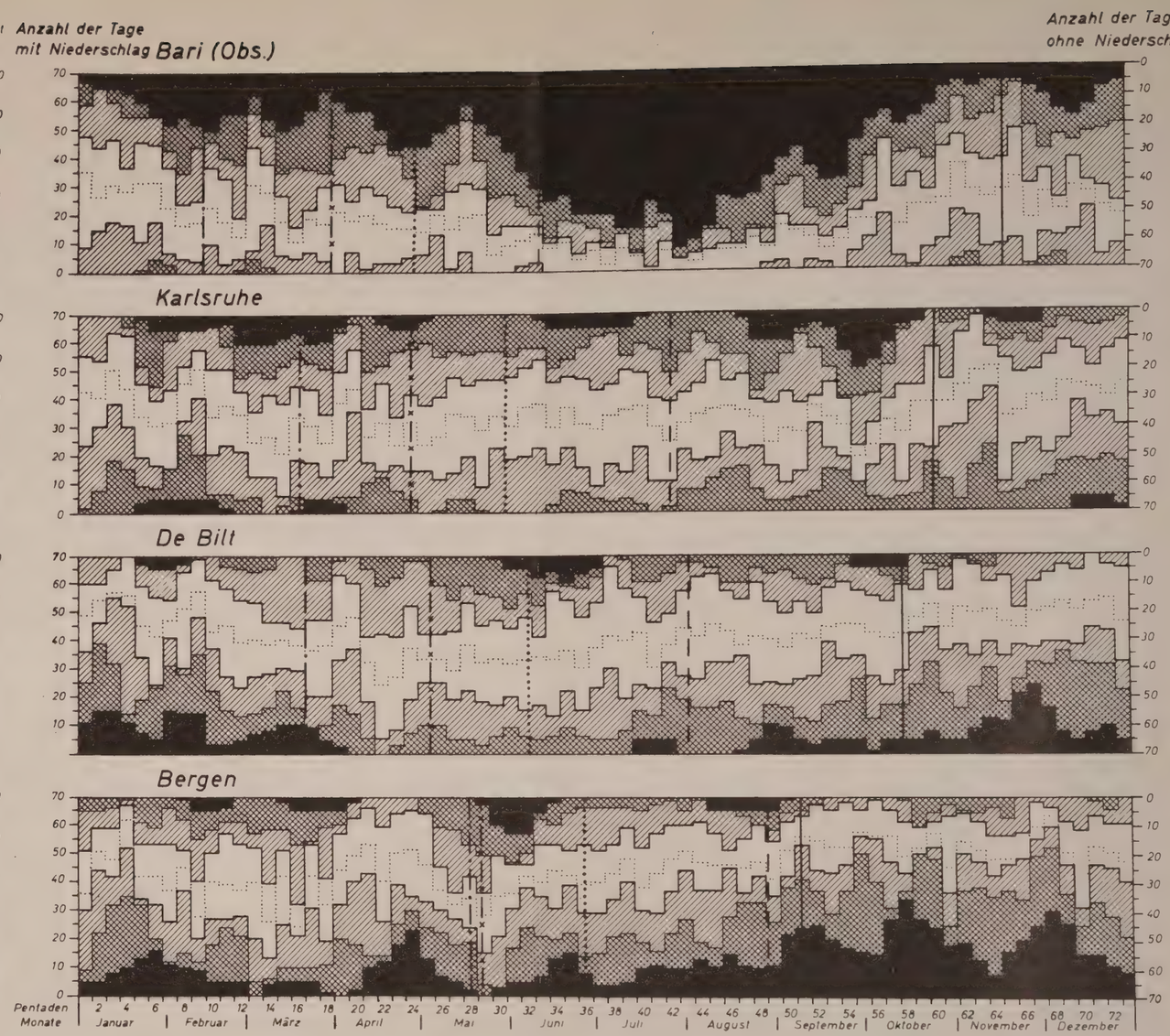
a Beginn Sommergetreide-Aussaat

b Beginn Winterweizen-Ährenschieben

c Beginn Winterweizen-Ernte

d Beginn Winterweizen-Aussaat





I *Aufgeteilt in Stufen der Niederschlagssumme*

	0,1 – 0,9 mm
	1,0 – 2,4 mm
	2,5 – 9,9 mm
	≥ 10 mm

II *Aufgeteilt nach Zugehörigkeit zu Perioden von:*

	1 – 3
	4 – 7
	8 – 14
	≥ 15

} aufeinanderfolgenden Tagen mit bzw. ohne Niederschlag

Abb. 15
Häufigkeit der Niederschlags- und der niederschlagsfreien Tage für Pentaden

Langjährige mittlere phänologische Phasen:
-·-·- Beginn Sommergetreide-Aussaat
-x-x- Beginn Apfelblüte
····· Beginn Winterweizen-Ährenschieben
– – – Beginn Winterweizen-Ernte
——— Beginn Winterweizen-Aussaat

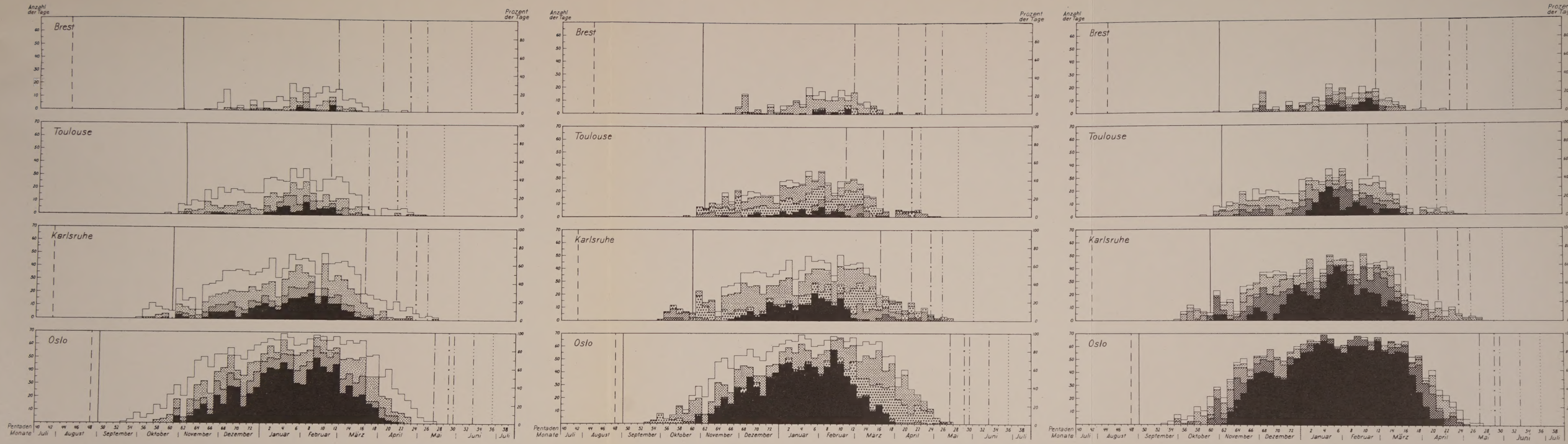


Abb. 16

Häufigkeit der Frosttage für Pentaden

Langjährige mittlere phänologische Phasen:

— · — · Beginn Sommergetreide-Aussaat
— ·· — ·· Beginn 2. Drittel } zwischen Sommergetreide-Aussaat
- - - - - - Beginn 3. Drittel } und Winterweizen-Ährenschieben
— x — x Beginn Äpfelblüte
· · · · · · · Beginn Winterweizen-Ährenschieben
- - - - Beginn Winterweizen-Ernte
——— Beginn Winterweizen-Aussaat